

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

LUIZ RENATO BRAZ PONTES



Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
A EVOLUÇÃO DAS REDES INTELIGENTES E SUA IMPLEMENTAÇÃO



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2017

LUIZ RENATO BRAZ PONTES

A EVOLUÇÃO DAS REDES INTELIGENTES E SUA IMPLEMENTAÇÃO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação Acadêmica de Engenharia  
Elétrica da Universidade Federal de Campina  
Grande como parte dos requisitos necessários  
para a obtenção do grau de Bacharel em  
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Orientador:

Professor Ubirajara Rocha Meira

Campina Grande  
Março de 2017

LUIZ RENATO BRAZ PONTES

A EVOLUÇÃO DAS REDES INTELIGENTES E SUA IMPLEMENTAÇÃO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação Acadêmica de Engenharia  
Elétrica da Universidade Federal de Campina  
Grande como parte dos requisitos necessários  
para a obtenção do grau de Bacharel em  
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Aprovado em        /        /

**Leimar de Oliveira**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Ubirajara Rocha Meira**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família, amigos e namorada, os responsáveis por não me faltar força quando foi preciso lutar por meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Luiz Renato e Zélia, por terem se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por ter me alimentado com saúde, força e coragem, as quais que foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço também a minha namorada, Karen, por sempre me apoiar e me dar forças a nunca desistir.

Agradeço também aos amigos da graduação, por sonharem esse sonho comigo e por sempre me darem apoio em todos os momentos que precisei.

Ao meu orientador, Ubirajara Rocha Meira, pela paciência na orientação, e toda instrução que foi dada para a elaboração deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Long you live and high you fly  
and smiles you will give  
and tears you will cry  
and all you touch and all you see  
is all your life will ever be.”*

David Gilmour/ Richard Wright/ Roger Waters.

## RESUMO

As Redes Inteligentes – Smart Grid – surgem como uma inovação para as antigas redes elétricas existentes. Tal inovação traz consigo diversos benefícios para as empresas do setor elétrico, para os consumidores e para todas as empresas que criam e fabricam as tecnologias inteligentes. Nesse contexto, esse trabalho aborda os fundamentos e conceitos relacionados às redes inteligentes, ao cenário das *Smart Grids* internacional e nacional, além de apresentar diversos equipamentos e tecnologias utilizadas na maioria dos projetos. Traz também, conceitos e descrições de um projeto de *Smart City* no Brasil, Cidade Inteligente Búzios, da empresa AMPLA (grupo ENDESA).

**Palavras-chave:** Redes Inteligentes, Cidade Inteligente, Eficiência Energética, Cidade Inteligente Búzios, Evolução.

# ABSTRACT

Smart Grid come as an innovation for the old existing power grids. Such innovation brings with it several benefits for companies in the electricity sector, for consumers and for all companies that create and manufacture smart technologies. In this context, this work approaches the fundamentals and concepts related to smart grid, the scenario of international and national intelligent networks, besides presenting various equipment and technologies used in most projects. Finally, this work brings concepts and descriptions of a smart city project in Brazil, Búzios Smart City, of AMPLA (ENDESA group).

**Keywords:** Smart Grid, Smart City, Energy Efficiency, Búzios Smart City, Evolution.



# LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Motivadores para a Implementação do Smart Grid no Brasil .....	15
Figura 2: Aplicações do Smart Grid .....	16
Figura 3: Sistema de Potência Atual.....	17
Figura 4: Sistema de Potência do Futuro – Smart Grid .....	17
Figura 5: Técnicas de Gerenciamento de Carga .....	19
Figura 6: Concentradores em Rede de Malha.....	21
Figura 7: Exemplo de Medidores Inteligentes .....	24
Figura 8: Exemplos de In Home Displays (IHD) .....	26
Figura 9: Smartplug .....	27
Figura 10: Ilustração Do Veiculo Elétrico e Eletroposto.....	29
Figura 11: Mapa de Projetos no Mundo .....	31
Figura 12: Custos Totais dos Projetos em Redes Inteligentes por Região.....	38
Figura 13: As 10 Cidades mais bem Colocadas no Ranking da IESE.....	44
Figura 14: Energias Renovaveis .....	46
Figura 15: Iluminação Inteligente.....	47
Figura 16: Veiculo Elétrico .....	47

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
Celpe – Companhia Energética de Pernambuco  
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais  
Coelce/Endesa – Companhia de Energética do Ceará (CE)  
Copel – Companhia Paranaense de Energia  
ENEL – *Ente Nazionale per l'Energia Elettrica*  
EU – União Europeia  
GLD – Geração pelo Lado da Demanda  
GD – Geração Distribuída  
IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers  
IHD – *In Home Display*  
IMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia  
INESC – Instituto de Engenharia de Sistemas de Computadores  
IoT – *Internet of Things*  
IP - *Internet Protocol*  
MME – Ministério de Minas e Energia  
OFGEM - *Office of Gas and Electricity Markets*  
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento  
PHEV – Veículos Elétricos Híbridos  
PLC – *Power Line Communications*  
REI – Redes Elétricas Inteligentes  
SM – *Smart Meter*  
SMC – Sistema de Medição Centralizada  
STAmi - *Advanced Metering Interface*  
TIC - Tecnologia da informação e comunicação  
VE – Veículo Elétrico

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	12
1.1	Objetivo.....	13
2	Conceitos e fundamentos de uma rede inteligente (Smart Grid) .....	14
2.1	Motivadores e Desafios .....	14
2.2	Interoperabilidade e intercambialidade .....	18
2.3	Geração pelo Lado da Demanda .....	19
2.4	Geração Distribuída .....	20
2.5	Estrutura de Comunicação .....	21
3	Tecnologias Utilizadas em uma Smart Grid.....	23
3.1	Smart Meters - Medidores Inteligentes .....	23
3.2	In Home Display .....	25
3.3	Smartplugs – Tomadas Inteligentes .....	26
3.4	Iluminação Publica.....	27
3.5	Carro Elétrico.....	28
4	Cenário Smart Grid.....	30
4.1	Cenário Internacional .....	30
4.1.1	Europa.....	31
4.1.1.1	Itália .....	32
4.1.1.2	Portugal .....	33
4.1.1.3	Reino Unido .....	34
4.1.2	Estados Unidos.....	35
4.1.3	Ásia-Pacífico .....	36
4.1.3.1	China .....	37
4.1.3.2	Japão .....	37
4.2	Cenário Nacional.....	37
5	Das Redes Inteligentes às Cidades Inteligentes.....	43
5.1	Projeto Cidade Inteligente Búzios, BRASIL.....	44
5.1.1	Características do Projeto.....	45
5.1.2	Medição Inteligente.....	45
5.1.3	Geração Distribuída .....	46
5.1.4	Sistema de Armazenamento de Energia .....	46
5.1.5	Iluminação Publica.....	46
5.1.6	Veiculo Elétrico .....	47
5.1.7	Prédios Inteligentes .....	48
5.1.8	Integração Socioambiental .....	48
6	Conclusão .....	50
7	Referências .....	51

# 1 INTRODUÇÃO

Em um mundo onde cada dia depende mais de energia elétrica, pensar em redes inteligentes (Smart Grid) não é uma opção e sim, necessidade, que pode não só melhorar a qualidade do uso do potencial energético, mas também tornar realidade a relação entre seres humanos e o meio ambiente mais sustentável. O conjunto dessas necessidades e tecnologia dão vida ao termo *Smart Cities*

As *Smart Grids* trazem novas formas de expansão do sistema elétrico como: integração de diversos tipos de geração de energia a rede elétrica, também conhecida como geração distribuída, além de grande eficiência na manutenção das redes, melhoria na qualidade da energia, além da busca por parte dos consumidores de um mecanismo que possibilite a contribuição direta dos mesmos em relação a segurança e sustentabilidade do sistema [7], onde a junção de todos esses aspectos torna realidade as *Smart Cities* que são capazes de gerir de forma eficiente a infraestrutura e os serviços, enquanto atendem a maior parte das necessidades da cidade e seus cidadãos.

Uma cidade inteligente é um sistema urbano que utiliza o que existe de mais moderno em tecnologia de informação e comunicação para trazer mais conectividade tanto aos aspectos de infraestrutura como aos serviços públicos em geral, com excelentes níveis de qualidade de vida. Essa conexão visa a acessibilidade e eficiência sob o ponto de vista dos cidadãos. No intuito de facilitar a interação do cidadão com os elementos urbanos [1].

Para se colocar em prática tal conceito, algumas transformações devem ser levadas em consideração, como a modernização da infraestrutura, utilização de captura e processamento de dados que são a essência da rede inteligente e, mudanças nas formas de geração e comercialização da energia.

Diante de todas as aplicações que podem ser feitas com essa tecnologia promissora, este trabalho será um estudo bibliográfico sobre os tecnologias e equipamentos utilizados nos projetos de redes inteligentes, além de trazer informações relacionadas ao cenário *Smart Grids* internacional e nacional. Por fim, este trabalho traz conceitos e descrições de um projeto de *Smart City* no Brasil, Cidade Inteligente Búzios, da empresa AMPLA (grupo ENDESA).

## 1.1 OBJETIVO

Realizar uma revisão bibliográfica sobre Smart Grids e conceitos referentes às tecnologias e equipamentos usados na maioria dos projetos de rede elétrica inteligente na atualidade. Trazer informações relacionadas ao cenário *Smart Grids* internacional e nacional. Conceituar Cidade Inteligente e descrever um projeto de *Smart City* no Brasil, Cidade Inteligente Búzios, da empresa AMPLA (grupo ENDESA).

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 2 consta a definição e conceitos básicos de Rede Inteligente. É abordado os fundamentos básicos para a implementação. Apresenta-se um panorama geral da estrutura de uma Rede Inteligente.

No Capítulo 3 apresenta-se de forma detalhada diversos equipamentos e tecnologias que são utilizadas em uma rede inteligente.

No Capítulo 4 é abordado o cenário Smart Grid. Faz uma análise do cenário internacional e nacional, além de apresentar diversos projetos que já foram ou estão sendo implementados em diversos países.

No Capítulo 5 consta a definição de Cidade Inteligente. Apresenta-se um projeto de Redes Inteligentes da Cidade de Búzios de forma detalhada, mostrando toda sua implementação.

No Capítulo 6 tem-se as conclusões finais.

## 2 CONCEITOS E FUNDAMENTOS DE UMA REDE INTELIGENTE (SMART GRID)

A expressão Redes Inteligentes (REI) é a tradução do termo em inglês mundialmente conhecido como *Smart Grids*. O termo *Smart Grid* foi usado pela primeira vez em 2005 em um artigo escrito por S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg, publicado na revista IEEE P&E, com o título de "Toward A *Smart Grid*" [36].

As REI podem ser consideradas como uma inovação no setor elétrico. Na prática, trata-se de uma reestruturação nas redes elétricas já existentes, com a inserção dos dispositivos inteligentes, fontes de energia renováveis e tecnologia da informação e comunicação, que trará melhorias tanto para o consumidor quanto para as empresas de energia, provedores de tecnologia e serviço e para o meio ambiente. De acordo com a CHAMADA Nº 011/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a “nova” rede será mais eficiente e segura, adaptativa, interativa, capaz de gerar novas oportunidades de negócios, operada com foco na qualidade e de menor impacto ambiental [6].

As REI podem ser compreendidas como a rede elétrica que utiliza tecnologia digital avançada para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade em tempo real com fluxo de energia e de informações bidirecionais entre o sistema de fornecimento de energia e o cliente final. A implementação da REI possibilita uma gama de novos serviços, abrindo a possibilidade de novos mercados e se apresenta como uma das fortes tendências de modernização do sistema elétrico em vários países.

### 2.1 MOTIVADORES E DESAFIOS

As redes inteligentes têm como objetivo aperfeiçoar a geração, distribuição e consumo de energia elétrica, agregando melhorias relevantes em monitoramento, gestão, automação e qualidade da energia ofertada, através de uma rede elétrica que possui como principal característica o uso intenso das tecnologias de informação e comunicação.

Os motivadores para a implantação de redes elétricas inteligentes variam de acordo com o país. Nos Estados Unidos, por exemplo, existe uma maior preocupação

com a confiabilidade, segurança e eficiência do sistema. Na Europa há uma preocupação com a integração de diversas fontes de energia renovável. No Japão, busca-se diversificar a matriz energética diante dos recentes acidentes nucleares que atingiram o país e, na China, busca-se a eficiência energética [2].

No Brasil, os principais motivadores para a implantação de uma Smart Grid são: a eficiência comercial e energética, a melhora da confiabilidade do sistema elétrico, a segurança operacional e sustentabilidade econômica e ambiental, como podem ser visto na Figura 1 [34].

Figura 1: Motivadores para a Implementação do Smart Grid no Brasil



Fonte: [11]

Existem várias definições para o conceito de redes inteligentes, mas todas convergem para o uso de elementos digitais e de comunicações nas redes que transportam a energia. Esses elementos possibilitam o envio de uma gama de dados e informação para os centros de controle, onde eles são tratados, auxiliando na operação e controle do sistema como um todo.

O avanço tecnológico aplicado à rede irá aumentar a confiabilidade e segurança do suprimento de energia, sendo capaz de detectar e resolver falhas no sistema antes que ocorra, por meio de sensores, atuadores e controladores inteligentes instalados em toda a extensão do sistema de distribuição de energia elétrica.

As faltas elétricas serão encontradas e identificadas com mais velocidade e toda informação adquirida em tempo real promoverá um isolamento eficiente e inteligente das áreas afetadas redirecionando o fluxo de energia para preservar o maior número possível de usuários atendidos. Desta forma, haverá diminuição do número de interrupções e faltas de energia, melhorando os índices de qualidade da energia das

distribuidoras, em relação aos indicadores de continuidade e confiabilidade do fornecimento.

Outro ponto importante será a participação do consumidor no uso eficiente de energia. Na REI, todos os aparelhos estarão interligados a rede, permitindo o monitoramento pelo consumidor, podendo assim, tomar medidas apropriadas no gerenciamento da eficiência desses dispositivos com relação a energia elétrica. Um exemplo dessa aplicação será os alertas, enviados pela distribuidora de energia aos clientes, podem indicar as cargas que mais consomem, dentro de uma unidade consumidora, chamando a atenção dos mesmos com relação a sua utilização (figura 2).

Figura 2: Aplicações do Smart Grid



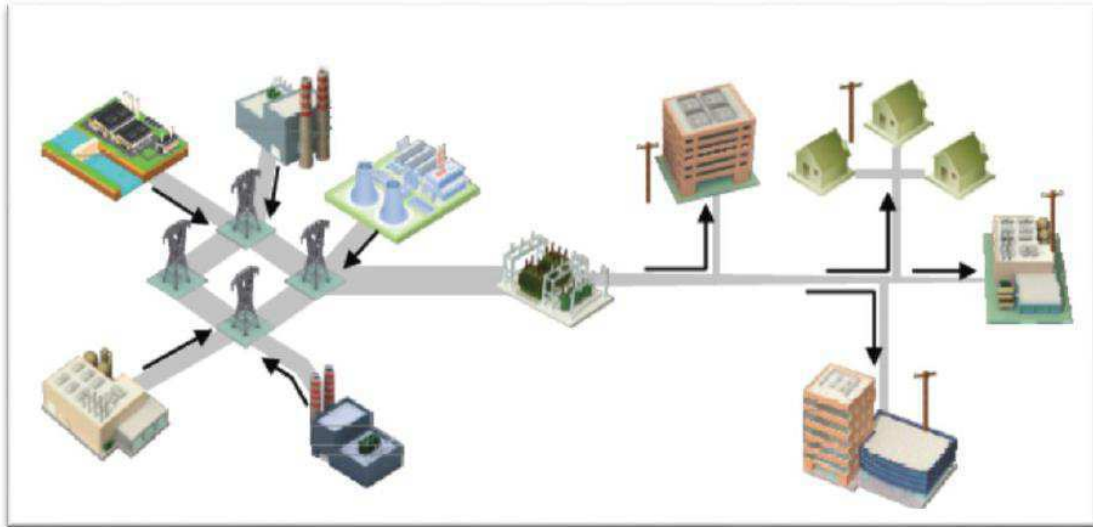
Fonte: [11]

No entanto, para se colocar em prática tal conceito, algumas transformações devem ser levadas em consideração, como a modernização da infraestrutura, instalação de camadas digitais, como *softwares* e capacidade de processamento de dados, que são a essência da rede inteligente, e mudanças nas regras atuais de comercialização, necessárias para ampliar o número de usuários.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas as diferenças entre o sistema elétrico atual e o sistema elétrico futuro com redes inteligentes.

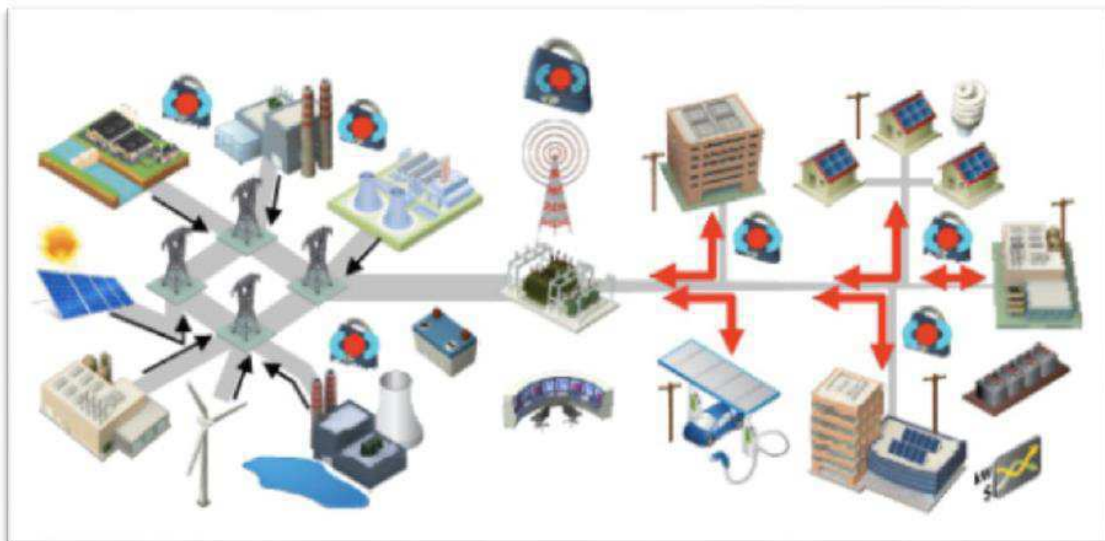


Figura 3: Sistema de Potência Atual



Fonte: [21]

Figura 4: Sistema de Potência do Futuro – Smart Grid



Fonte: [21]

De acordo com a Figura 3, o modelo atual do sistema de potência é caracterizado pela geração centralizada e um fluxo de energia elétrica unidirecional, que parte da fonte para a carga. Já no modelo futuro, apresentado na Figura 4, a geração será descentralizada, o fluxo de energia será bidirecional e haverá a introdução de novos consumidores na rede, os veículos elétricos recarregáveis ou híbridos, que serão abastecidos através de terminais instalados em estacionamentos, *shopping centers*, supermercados e nas garagens dos clientes. Pode-se ver no modelo futuro a inclusão dos

sistemas de comunicações, permitindo assim, a comunicação entre os equipamentos das redes, como também mantendo os consumidores informados sobre o consumo, tarifas, etc.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia – MME, para que uma rede seja inteligente, deve cumprir tais requisitos:

- Auto recuperação;
- Motivar consumidores a serem mais participativos;
- Resistir a ataques físicos e cibernéticos;
- Fornecer energia de melhor qualidade;
- Permitir vários tipos de geração e armazenamento de energia;
- Maior envolvimento do mercado;
- Permitir uma maior utilização de geração intermitente de energia;

## 2.2 INTEROPERABILIDADE E INTERCAMBIALIDADE

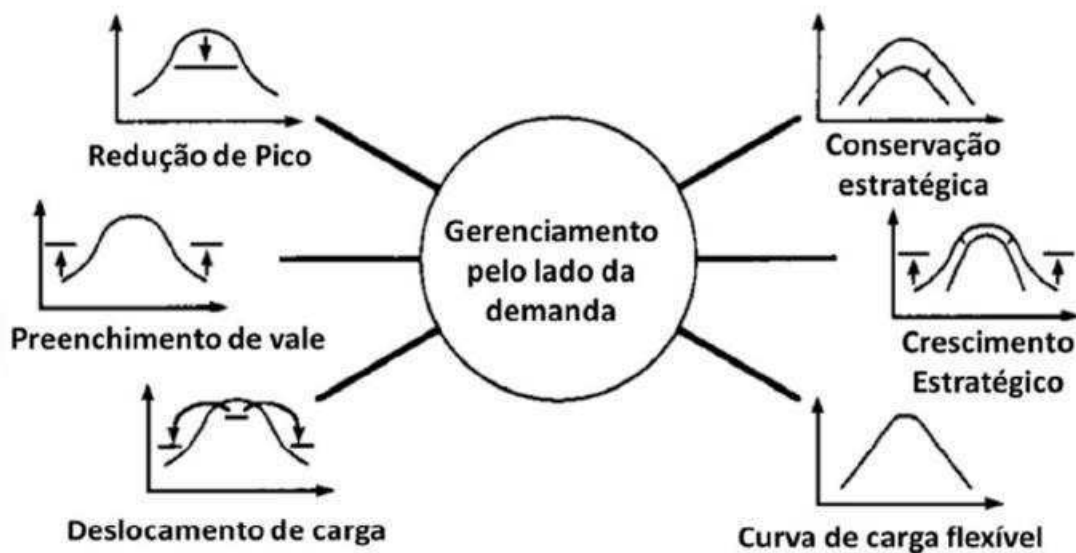
Interoperabilidade é a “capacidade de um sistema de se comunicar de forma transparente com outro, semelhante ou não, compartilhando dados entre si”. A intercambialidade é a possibilidade de trocar determinado equipamento por outro equivalente, de outro fabricante, mantendo intactos tanto padrões lógicos quanto físicos [36].

Nesse mesmo sentido, a tentativa de desenvolver um projeto de redes elétricas inteligentes antes de ser estabelecido um padrão que permita a interoperabilidade entre os dispositivos estaria fadada ao fracasso, uma vez que não abrangeria – na quantidade e no tempo – a intenção de proporcionar esse recurso para a totalidade dos consumidores. Bem entendido, tal interoperabilidade não necessita ser construída em âmbito nacional. Seria suficiente estabelecê-la no âmbito de uma distribuidora específica, levando em conta suas especificidades, ou de um conjunto de distribuidoras que tenham objetivos e estratégias relativamente comuns no tocante aos produtos e serviços a serem ofertados pelos programas de redes elétricas inteligentes [28].

## 2.3 GERAÇÃO PELO LADO DA DEMANDA

Com toda a informação sobre os dados de medição filtrada pelo MDM, o conceito de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) poderá ser utilizado em uma escala muito maior. O GLD surgiu nos anos 70, em meio à crise do petróleo, pela necessidade da redução dos picos de consumo de energia elétrica, em um momento em que sua geração estava fortemente vinculada a derivados de petróleo. Com as inconstantes variações do preço do barril, estava cada vez mais difícil suprir uma crescente demanda a um baixo custo [9]. O GLD está dividido em seis categorias, de acordo com a Figura 5.

Figura 5: Técnicas de Gerenciamento de Carga



Fonte: [2]

**Redução de Pico:** Tem como objetivo reduzir o consumo de energia durante o período de ponta. A concessionária tem autorização prévia do usuário para intervir no controle das cargas de sua unidade consumidora, através de incentivos tarifários.

**Preenchimento de Vale:** Reduz o custo do MW gerado a partir do preenchimento dos vales da curva de carga, aumentando o consumo durante os horários fora do período de ponta, melhorando a relação entre as demandas média e máxima.

**Deslocamento de Carga:** Através de incentivos tarifários, motiva-se a alteração do padrão de consumo do usuário, deslocando o consumo, que seria feito na ponta, para fora deste período.

**Conservação Estratégica:** Resulta em uma redução da curva de carga através da conscientização do consumidor do benefício do uso de equipamentos eletroeletrônicos mais eficientes.

**Crescimento Estratégico:** Se dá pelo estímulo financeiro promovido ao consumidor para que a energia vendida ao mesmo seja consumida fora do horário de pico, de forma a preencher os vales, ou seja, deve haver a venda de energia elétrica e o preenchimento de vales.

**Curva de Carga Flexível:** Esta definição está relacionada com a confiabilidade. O usuário é incentivado financeiramente por permitir corte na carga ou redução da qualidade do serviço.

Programas de GLD são intervenções deliberadas de uma empresa de energia elétrica no mercado consumidor (demanda), com o intuito de promover alterações no perfil e na magnitude da curva de carga. O grande objetivo do GLD é remontar a curva de carga, reduzindo o consumo de energia elétrica durante os horários de ponta, retardando investimentos em ampliação da capacidade de geração, com a construção de novas usinas.

## 2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

As redes elétricas inteligentes irão promover um aumento da microgeração de energia, impulsionando a Geração Distribuída (GD). A GD tem como fundamental característica a proximidade da geração com os centros de carga. A energia gerada pode alimentar diretamente as redes de distribuição como também consumidores de pequeno porte [5].

Várias formas de geração poderão ser alocadas na rede, como células-combustíveis, renováveis, além de outras fontes de geração distribuída. Essas fontes estarão mais próximas dos centros de cargas e permitirão aos consumidores não só a compra dessa energia, bem como a venda de seu excedente.

Para um melhor entendimento, tem-se como exemplo “a microgeração por fonte solar fotovoltaica: de dia, a “sobra” da energia gerada pela central é passada para a rede; à noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora e supre necessidades adicionais. Portanto, a rede funciona como uma bateria, armazenando o excedente até o

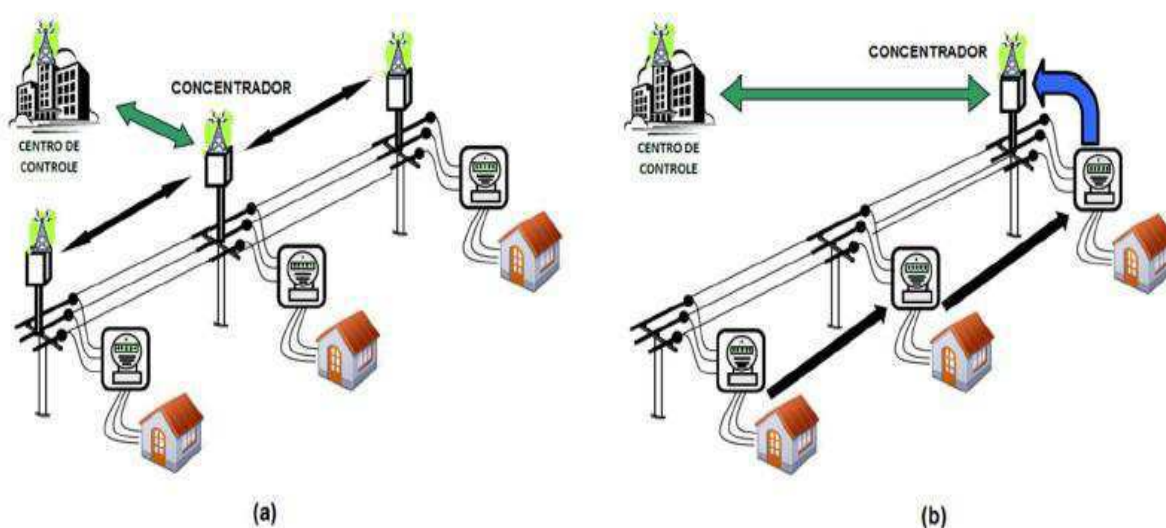
momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora” [5].

## 2.5 ESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO

O sistema de comunicação é um dos pontos mais importantes para o desenvolvimento de uma REI, esta diretamente ligada a implementação de uma infraestrutura de comunicação adequada. Por exemplo, as redes inteligentes devem oferecer sistemas de comunicação bastante seguros e confiáveis, suficientes para aguentar diversos tipos de tecnologias diferentes. Além disso, os equipamentos inteligentes da rede e as técnicas de gerenciamento de dados devem ser robustos e escaláveis para suportar as aplicações a serem inventadas futuramente. Por último é necessário, também, que o Smart Grid possua dispositivos e sistemas com interoperabilidade suficiente para interagir entre a nova e a já existente rede elétrica.

De um modo geral, a infraestrutura de telecomunicações pode ser dividida de acordo com a abrangência sobre a cadeia medidor-concentrador-distribuidora, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6: Concentradores em Rede de Malha



Fonte: [29]

A Figura 6 (a) traz o primeiro enlace de comunicação, entre a distribuidora e o concentrador de dados. A distribuidora poderá se conectar por meio de fibra-ótica, satélite, serviços de rádio utilizados em dispositivos móveis ou PLC. Para a eficiência do transporte de dados, os concentradores podem ser organizados de forma hierárquica em uma rede de malha, conhecida também como rede *mesh*. Deste modo, existirá um concentrador principal, responsável por enviar as informações à concessionária, se comunicando com concentradores intermediários [5].

A Figura 6 (b) traz o segundo tipo de ligação, entre o concentrador de dados e o medidor de energia. Para este tipo de ligação, a comunicação pode ser feita através do PLC ou radiofrequência, baseado em um protocolo de comunicação. Através destas tecnologias os medidores poderão se comunicar com os concentradores e enviar todo o tipo de informação de utilização da energia para o centro de controle das distribuidoras [5].

Na terceira e última ligação, os equipamentos domésticos conectados à rede elétrica terão seus comportamentos monitorados periodicamente pelos medidores eletrônicos de energia que por sua vez poderão transmitir os dados coletados para as concessionárias, através dos concentradores [5].

## 3 TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM UMA SMART GRID

As tecnologias aplicadas nas redes inteligentes já se encontram disponíveis no mercado. Essas tecnologias podem ser inseridas de forma inteligente como cita CAIRES [9]: “a base do que se conhece por rede inteligente não é necessariamente algo novo, como alguns poderiam supor, mas sim a aplicação inteligente de vários componentes e sistemas já existentes, visando à automação e o controle remoto da distribuição”.

As principais tecnologias que podem ser aplicadas às redes inteligentes são:

- Medidores Inteligentes
- In Home Display (IHD)
- Tomadas Inteligentes
- Iluminação Pública
- Veículos Elétricos

### 3.1 MEDIDORES INTELIGENTES - SMART METERS

Smart meters (SM) são medidores digitais inteligentes que, nas redes Smart Grid, são os dispositivos responsáveis pela recepção e transmissão dos dados de consumo dos usuários para a rede elétrica (figura 7). Esses aparelhos são instalados nos pontos terminais da rede, conectados à rede IP, que recebem e armazenam todas as informações do consumo de energia dos equipamentos eletrônicos existentes. Os medidores inteligentes são conectados à rede elétrica através de um meio de transmissão suficientemente eficiente para suportar as demandas de tráfego dos SM's.

Figura 7: Exemplo de Medidores Inteligentes



Fonte: [25]

Os medidores inteligentes são um dos maiores motivadores do desenvolvimento das redes elétricas inteligentes. Apesar de o sistema de medição ser apenas um dos diversos sistemas que integram o conceito de Smart Grids, o mesmo aparece com grande destaque nos projetos de redes inteligentes, devido a alguns fatores que impactam, de forma mais intensa, as operações das concessionárias, tanto no tocante a benefícios quanto a custos agregados [28].

Desses fatores, é possível citar:

- Para a concessionária, independentemente de outras funções avançadas e adicionais, a função principal dos medidores sempre será a de gerar dados para faturamento.
- Os medidores inteligentes podem servir como canal de interação entre a distribuidora e seus clientes.
- Medidores de energia são fundamentais para viabilizar ações de eficiência energética e gestão pelo lado da demanda.
- Como cada unidade consumidora possui um medidor de energia, investimentos na modernização destes equipamentos são expressivos em relação a outros componentes da rede elétrica.
- Uma vez que os medidores de energia estão presentes em todas as unidades consumidoras, construir uma rede de dados que atinja esses pontos equivale a possuir uma cobertura completa de telecomunicações



que abranja não somente os sistemas de medição de energia, mas que também possa agregar informações sobre a rede de baixa tensão, transferir dados de sistemas de automação e controlar sistemas de geração distribuída. A construção dessa rede de comunicação é a base na qual os sistemas componentes da tecnologia *Smart Grid* podem trocar informações entre si e com a concessionária.

Com a comunicação bidirecional entre consumidores e a concessionária de energia elétrica espera-se propiciar a leitura automática da demanda individual automatizando a coleta de dados de faturamento, proporcionar a conexão e desconexão de consumidores, disponibilizar informações do preço da energia, detectar faltas e despachar equipes de manutenção de forma mais rápida e correta, além de detectar e impedir o furto de energia. O advento da medição inteligente e a exibição em tempo real de informações oferecem recursos, como:

- O monitoramento de qualidade de energia, do perfil de carga e a comutação remota de cargas;
- Redução do consumo de energia elétrica durante os períodos de maior custo da geração;
- Os preços da energia elétrica podem variar segundo o horário, o dia da semana, e a estação do ano.
- Possibilita o sistema de medição líquida, onde o proprietário recebe crédito pela energia gerada não consumida.

## 3.2 MOSTRADOR DIGITAL - IN HOME DISPLAY

Para que o sistema de *Smart Grid* seja eficaz, é necessário que os clientes interajam com o seu consumo de energia de forma eficaz. Portanto, os clientes precisam ter acesso às informações vinda do medidor eletrônico. Como medidor não tem o papel de disponibilizar todos os dados obtidos em seu pequeno display. Para isto, foi desenvolvido um mostrador digital - *in home displays (IHD)*, que tem como objetivo expor aos clientes os dados de consumo obtidos pelo medidor inteligente. A figura 8 traz exemplos de IHD.

Figura 8: Exemplos de In Home Displays (IHD)



Fonte: [25]

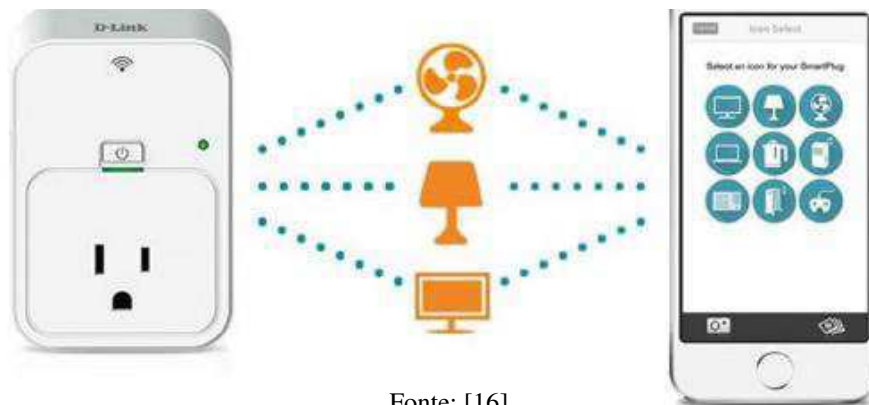
Podemos citar as seguintes vantagens destes canais de interação:

- A possibilidade de o cliente consultar seu consumo, em frações de segundos, de forma automática via IHD ou sob demanda, através de seu telefone celular.
- A possibilidade de receber alertas de possível ultrapassagem de consumo ou de alto consumo durante períodos de tarifa mais cara via SMS.
- A possibilidade de comandar tomadas inteligentes e acompanhar seu status de forma remota.

### 3.3 TOMADAS INTELIGENTES - SMARTPLUGS

As *smartplugs* são uma alternativa viável aos usuários, provendo dados de consumo por aparelho. Atuam de forma a contabilizar individualmente o consumo instantâneo de cada tomada e fornecer instantaneamente ao consumidor os respectivos dados. São dispositivos intermediários entre a tomada (rede) e a carga. Suas principais funcionalidades de medição são: tensão, corrente, potência instantânea, energia, frequência da rede, potência aparente, fator de potência e tempo de consumo. A Figura 9 traz um exemplo de *smartplug*, fabricado pela Dlink.

Figura 9: Smartplug



Fonte: [16]

As *smartplugs* se conectarão com o medidor inteligente permitindo a criação de uma rede de medição dos equipamentos, exibindo todos os dados em uma mesma interface. Esse dispositivo pode auxiliar nas técnicas de gerenciamento de energia, como por exemplo:

- Programação de horário de funcionamento,
- Limitação e controle de cargas,
- Horário de funcionamento programado ou interrupção do funcionamento durante o horário de pico,
- Controle remoto automático das cargas conectado as tomadas inteligentes.

A tendência é que os eletrodomésticos inteligentes possuam um *smartplug* integrado de fábrica.

### 3.4 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A gestão da iluminação pública é um grande desafio. Por essa razão, várias concessionárias responsáveis por gerenciar tais serviços sonham em automatizá-los há gerações. Esse desejo esbarra em dois grandes aspectos: o alto investimento necessário para realizar tais implementações, com a necessidade de realizá-las de forma agrupada para permitir uma boa relação custo-benefício da infraestrutura de telecomunicação e a necessidade de instalar novos dispositivos de controle associados a sistemas de iluminação. Isso se dá porque nem sempre há espaço disponível e porque novos dispositivos implicam, geralmente, custos adicionais [28].

Por outro lado, a medição de sistemas de iluminação pública de forma individualizada traz grande valor às concessionárias de energia elétrica, uma vez que permite maior precisão no faturamento energético de tal sistema. Por exemplo, ao evitar que a iluminação pública fique inadequadamente acesa durante o dia ou possibilitar que, de forma alternada, luminária sim, luminária não, seja acesa em alguns horários e ambientes específicos – numa praça. A redução de consumo associada a tal ação beneficiaria a sociedade como um todo e, também, o meio ambiente [28].

### 3.5 CARRO ELÉTRICO

Os veículos elétricos reapareceram no cenário automotivo mundial. Esse movimento deverá ser responsável pela substituição parcial dos motores a combustão interna por motores elétricos como fonte de força motriz veicular em parcela significativa da frota nas próximas décadas.

O veículo híbrido tem há a opção de recarga por meio da rede de energia elétrica, que deverá se tornar predominante ao longo do tempo. Uma tendência dos novos modelos, a presença do *plug* será responsável pela interface com a rede elétrica (figura 10).

Essa mudança afetará toda a rede, abrangendo da instalação de tomadas de força nas garagens das residências à instalação de pontos de recarga rápida ao longo das principais vias. Além de mudanças na rede básica, a eletrificação veicular cria oportunidades para novos modelos de negócios.

A introdução dos veículos elétricos irá aumentar gradualmente, sendo a demanda inicial acomodada pelas margens de segurança existentes em grande parte dos sistemas elétricos. No entanto, no longo prazo, a migração do padrão de uma grande parcela da frota veicular demandará a construção de novas usinas de geração de energia elétrica [11].

Em termos de transmissão e distribuição, uma mudança importante ocorrerá em nível local. Os efeitos sobre a rede serão condicionados pelo tipo de carregador e pela forma como esse carregamento será realizado. Entretanto, independentemente desses fatores, a eletrificação veicular deverá aumentar consideravelmente o consumo de energia de uma residência [11].

Os veículos elétricos precisam de estruturas novas, que possibilitem a recarga em vias públicas. Esses pontos viabilizariam a realização de viagens e a aquisição dos veículos por indivíduos que não têm garagem privativa. Adicionalmente, a existência de pontos de recarga públicos confere maior liberdade aos usuários, que não precisam ficar restritos aos carregadores domésticos. Assim, seria facilitada a criação de mecanismos que incentivem a distribuição da carga ao longo do dia, evitando, assim, uma sobrecarga nos horários de pico [11].

Existem diversas formas para induzir os proprietários de veículos elétricos a distribuir a carga, sendo a tarifa hora-sazonal a de mais fácil implementação. Durante a madrugada as tarifas sendo mais baixa, levará vários consumidores a carregar seus carros nesse período.

Figura 10: Ilustração do Veículo Elétrico e Eletroposto



Fonte: [20]

O *Smart Grid*, possibilita a otimização do uso da rede elétrica e modifica o relacionamento entre o usuário e a rede elétrica, ampliando a interatividade. A grande energia acumulada nas baterias abre novas possibilidades. O veículo pode atuar como um no-break, alimentar a residência ou devolver energia à rede, arbitrando o fluxo de acordo com o diferencial de tarifas de energia. O uso de baterias pode viabilizar a geração de energia elétrica em escala reduzida, com base em fontes não firmes, como fotovoltaica, por conta do armazenamento, e reduz as perdas de transmissão. A introdução do *Smart Grid* amplia o apelo dos veículos elétricos.

## 4 CENÁRIO SMART GRID

A plena implantação e integração do sistema *Smart Grids* nas redes de energia elétrica é um processo gradual e em desenvolvimento no mundo. Com o intuito de analisar os impactos decorrentes das inovações com o uso das redes inteligentes, diversos projetos pilotos e demonstrativos em estágios iniciais têm sido desenvolvidos por entidades governamentais, empresariais e de pesquisa em vários países.

Os investimentos em infraestruturas necessários para implantação das redes inteligentes são altos, principalmente em inteligência e telecomunicações, mesmo assim, resultam em benefícios tangíveis e intangíveis em toda a cadeia de energia elétrica, atingindo a todas as partes interessadas envolvidas [31].

Além dos problemas econômicos e tecnológicos, existem os de cunho regulatório. Conforme Ferreira [23]: “o regulador terá que auxiliar as companhias a identificar e priorizar uma solução específica das *Smart Grids* que irá viabilizar o uso mais eficiente da rede e que vá ao encontro das necessidades dos consumidores”.

### 4.1 CENÁRIO INTERNACIONAL

As redes inteligentes de energia já estão sendo implementadas em grande escala. As mesmas estão fortemente se difundindo através de diversos programas de P&D e de demonstração, sempre buscando a eficiência energética, gerenciamento pelo lado da demanda, controle do consumo em tempo real, segurança da rede, interoperabilidade dos sistemas e a introdução dos veículos elétricos e das fontes renováveis para diminuir o consumo dos combustíveis fósseis e as agressões ao meio ambiente. A figura 11 a seguir mostra um mapa dos investimentos em *Smart Grid* no mundo.

Figura 11: Mapa de Projetos no Mundo



Fonte: [13]

As metas instituídas pelo Conselho Europeu para a diminuição das emissões de dióxido de carbono, o aumento da eficiência energética, ampliação das fontes alternativas de energia e o aumento da interconexão dos sistemas energéticos estão exigindo um novo modelo para as redes de distribuição existentes. A Europa quanto os Estados Unidos tornaram-se os pioneiros do desenvolvimento e implantação desta nova tecnologia, em relação aos outros países, mas o Brasil tem se tornado um país com um potencial elevado a estas mudanças, devido aos seus recursos naturais.

Algumas das iniciativas internacionais e nacionais neste contexto de redes inteligentes serão descritas para mostrar seus principais aspectos e as barreiras encontradas ao longo deste processo de mudança [13].

#### 4.1.1 EUROPA

Na Europa, as redes inteligentes de energia surgiram para incentivar o uso de fontes renováveis na matriz energética. Em 2008, para estimular a disseminação da smart grid, foi aprovado pelo Parlamento Europeu, o plano de medidas para formular uma visão estratégica no que diz respeito ao desenvolvimento das REIs. Este foi chamado de Agenda 20-20-20, cujos principais objetivos são: 20% a menos de gases do efeito estufa (em relação ao nível calculado em 1990), 20% a mais de fontes renováveis

na geração de energia e ainda 20% a menos no consumo de energia por meio de programas de eficiência energética [17].

#### 4.1.1.1 ITÁLIA

No cenário europeu, destaca-se a Itália como o país que saiu na frente na implantação desta tecnologia, principalmente devido a falta de recursos energéticos. A principal distribuidora do país é a Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (Enel), com cerca de 95 GW de capacidade instalada [17]. A empresa foi a pioneira em projetos de REIs no mundo, substituindo os medidores analógicos pelos inteligentes. Dentre os principais projetos em Smart Grid no país são:

- Telegestore – Enel: Com a instalação de mais de 32 milhões de smart meters. O projeto possibilitou a mudança total dos medidores analógicos dos seus clientes em escala nacional. Esse medidor tem como principais características um alarme sonoro para indicar o aumento do consumo e índice de falhas inferior a 0,3% ao ano [17], gerenciamento remoto do consumo, medição de energia ativa e reativa, entre outras funcionalidades [13]. A empresa pretende melhorar o sistema desenvolvendo tecnologia de georreferenciamento, medidores multifuncionais e ainda mostradores de serviços de valor adicionado para ajudar o consumidor a gerenciar melhor seu próprio consumo[17].

- Energia @ Home – Energy Home: A empresa pretende desenvolver um smart meter que seja capaz de se adequar ao consumo em relação a tarifação e a fonte de alimentação, reduzindo as chances de sobrecarga na homework. O aparelho também proporciona as funcionalidades típicas de um sistema de medição (SM). Outro foco da empresa além da medição inteligente é o domínio da microgeração [13].

- E-mobilidade – E-mobility Italy: O projeto criou uma infraestrutura para a recarga de veículos elétricos, possibilitando a sua difusão e qualidade ao meio ambiente. Até dezembro de 2013 a previsão era a instalação de 300 postos de recarga públicos e mais 100 residenciais em Milão, Pisa e Roma [15].

- STAmi: Advanced Metering Interface – Enel: Este projeto desenvolveu uma aplicação dedicada ao gerenciamento da rede em baixa tensão, utilizando a infraestrutura de medição que já existe. Oferece a possibilidade dos dados dos clientes em tempo real e de qualidade [13].



Com o processo de liberalização do mercado de eletricidade no país, os consumidores foram divididos em dois grupos (cativos e não cativos). O segundo grupo tem a oportunidade de escolher o seu fornecedor de energia. A Itália possui um dos mercados de energia mais liberalizados na Europa, entretanto, o seu órgão regulador - Autorità per l'Energia Elettrica e Il Gas - AEEG, atua em conformidade com as diretrizes energéticas definidas pelo governo nacional e pela União Europeia [17].

#### 4.1.1.2 PORTUGAL

Devido as pressões para a mudança do mercado de energia na Europa, Portugal investiu alto no projeto InovGrid, desenvolvido pela EDP Portugal, que tem como principais objetivos a sustentabilidade, qualidade no fornecimento de energia e segurança na rede de distribuição [15]. Outro projeto que está sendo desenvolvido no país é o Mobi.E [17].

- InovGrid – EDP Portugal: A cidade escolhida para a implantação da InovCity foi Évora. A arquitetura do projeto é concentrada nos medidores inteligentes, conhecidos por Energy Box (EB), na eficiência energética, por meio de sistemas de gestão da energia e na microgeração, incentivando o aumento de micro unidades de geração, ao exemplo do incentivo a construção de parques de energia fotovoltaica [15]. O projeto tem parceria ainda com empresas de gestão de energia, automação e comunicações, tecnologia da informação e com o Instituto de Engenharia de Sistemas de Computadores do Porto (INESC Porto) [35]. Os EB instalados no consumidor/produtor na baixa tensão realizam o registro com precisão dos perfis de cada carga e da geração em tempo real, permitindo ao cliente interagir com o sistema e também controlar a microgeração [13]. Neste projeto, as empresas de comercialização são capazes de variar o seu portfólio sem preferências na competição pelo mercado, bem como criar novos serviços de tarifação, o agente regulador poderá promover a liberalização do sistema de energia e melhorar a operação da rede e, como principal consequência, uma melhoria na qualidade da energia oferecida [35].

- Mobi.E – Governo: O projeto conhecido como Mobilidade Eléctrica foi anunciado em 2009 e tem como principal objetivo a mobilidade urbana com o uso das fontes renováveis de energia, para reduzir o número das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera. A estimativa é que até 2020 sejam reduzidas até 25% destas emissões. Para isso foi iniciada a instalação em escala nacional dos veículos elétricos, visando atender as

necessidades do cliente final, pois estes veículos elétricos (EVs) são projetados de tal forma para que possam integrar a nova rede de energia e seja de fácil manuseio para o consumidor [35].

Com estes projetos, Portugal se tornou pioneiro na implantação em larga escala dos parques de energia fotovoltaica e ainda na promoção da mobilidade elétrica no conceito de smart grid.

#### 4.1.1.3 REINO UNIDO

Apesar de ser um dos grandes investidores em REI na União Europeia (UE), o Reino Unido ainda se encontra em um estágio de discussões, devido às barreiras regulatórias. O órgão regulador é o Office of Gas and Electricity Markets (OFGEM), que promove a competição e regula as companhias do mercado de energia. O OFGEM também criou um fundo para empréstimos em projetos que promovam a redução dos gases na atmosfera [17]. Alguns das iniciativas em REI são:

- Low Carbon Hub – Central Networks: O projeto vai demonstrar que as geradoras de energias renováveis (solar e eólica) podem ser inseridas na rede de distribuição primária em grande quantidade, diminuindo a quantidade de carbono na atmosfera [15].

- CET – CE Eletric: Desenvolver e explorar novas tarifas para a energia e explicar que esta tarifação pode influenciar na vida do cliente, alterando seu comportamento. O projeto possibilitará uma maior flexibilidade da rede com o uso de dispositivos inteligentes. Visa ainda a implantação de aproximadamente 14.000 medidores e 600 eletrodomésticos inteligentes da linha branca [13].

- Low Carbon London – UK Power Networks: Pretende explorar as melhores alternativas para a implantação das energia renováveis na rede energética de Londres e no gerenciamento dos ativos da redes, através de pesquisas do comportamento do novo consumidor/produtor [17].

- Plugged-in-Places – Various: este projeto visa instalar pontos de recarga para os veículos elétricos puros (EVs), híbridos (PHEVs) e veículos movidos a hidrogênio, mostrando na prática o funcionamento da recarga das baterias destes automóveis em diferentes locais [13]. De maneira geral, o Reino Unido ainda precisa vencer as diversas barreiras existentes para concluir de maneira satisfatória a implantação das Smart Grid,

tanto o governo como a OFGEM devem garantir esta mudança e o primeiro passo é a regulação das funcionalidades dos medidores inteligentes [30].

A distribuição de energia na Europa irá se transformar bastante para poder atingir as metas propostas na Agenda 20-20-20 sendo preciso acomodar o fluxo multidirecional da energia, através da geração distribuída, tendo o centro de operação e controle como um supervisor global do sistema inteligente.

#### 4.1.2 ESTADOS UNIDOS

Os principais motivadores para a mudança no setor energético no Estados Unidos foram a dependência energética dos combustíveis fósseis e a segurança da oferta de energia. Sua regulação em nível federal é feita pela Federal Energy Regulatory Commission – FERC (atuando além da jurisdição estadual) e pelos reguladores estaduais, conhecidos por State Public Utility Commission [3].

Em 2005, a FERC foi modificada pela Energy Policy Act – EAct 2005, fazendo com que sua atuação também fosse na área de confiabilidade da transmissão e operação do sistema, através dos princípios de redes elétricas inteligentes. Em 2007, surge o Energy Independence and Security Act (EISA 2007), que estimulou o desenvolvimento de pesquisas e projetos pilotos em Smart Grid e nas respectivas dificuldades deste processo. O presidente Barack Obama aprovou em 2009 um pacote econômico de mais de quatro bilhões de dólares para o desenvolvimento da Smart Grid, o American Recovery Reinvestment Act – ARRA 2009, além disso, a grande maioria das empresas de energia e organizações específicas estão envolvidas nestes projetos, que teve o objetivo de estimular a economia após a crise do ano anterior, com investimento de bilhões de dólares em REI [17] através dos programas de infraestrutura de medição (Smart Grid Investment Grant – SGIG) e criação de novos sistemas para transmissão, distribuição e armazenamento de energia (Smart Grid Demonstration Program – SGDP) [13].

Alguns dos projetos no país são:

- Pacific Gas & Electric Company: Um dos maiores utilities que investiram em smart grid nos Estados Unidos. Desde 2006 iniciou a modernização dos medidores dos sistemas de gás e energia [17];

- EPRI Intelligrid: Criado em 2001 pela Electric Power Research Institute objetivando desenvolver uma infraestrutura do sistema de energia que possa interagir com os sistemas de comunicação e computação, melhorando o alcance e a melhoria dos serviços prestados [27];

- Perfect Power System for Mesa Del Sol: Um dos projetos é a criação de microgrids, aumentando a capacidade de geração e armazenamento de energia.

- GridWise: Desenvolvido pelo Departamento de Energia (DoE), tendo como objetivo principal modernizar toda a rede [27].

- Smart Grid City: A XcelEnergy tinha um dos maiores projetos em smart grid no país, localizado em Boulder, Texas. Porém, os custos elevados desta iniciativa fizeram com que o ritmo desta implantação diminuísse significativamente, reduzindo as expectativas em relação ao sucesso do mesmo [36].

- A Califórnia se tornou o estado americano com os melhores resultados em relação às RIE, principalmente devido a crise regulatória de 2001. O estado também foi o pioneiro em programas de eficiência energética e fontes de energia renováveis. O principal resultado destes estudos foi o protocolo de análise de custo-benefício, visando a padronizar a metodologia de avaliação de programas de resposta da demanda implantados por companhias reguladas [36], estabelecidas pela Califórnia Public Utilities Commission.

Muitos dos programas em REIs nos Estados Unidos foram iniciados após a crise de 2001 na Califórnia e estes se concentram em explorar o potencial da resposta da demanda [17]. Estes projetos estão tendo resultados positivos, como a redução do consumo no horário de pico, principalmente após a aprovação do protocolo de padronização de metodologia da CPUC.

#### 4.1.3 ÁSIA-PACÍFICO

Os principais países localizados nesta região denominada Ásia-Pacífico estão cada vez mais investindo nas smart grid, objetivando melhorar a segurança do sistema, a eficiência operacional da infraestrutura, o balanceamento energético entre oferta e demanda e diminuir os impactos ambientais causados pelo sistema atual [32]. Os principais investimentos estão relacionados à implantação dos medidores inteligentes.

#### 4.1.3.1 CHINA

O governo do país está desenvolvendo um plano para incentivar, a longo prazo, em sistemas de energia, água e rurais, visando aumentar a eficiência e gerenciamento da rede, a redução do consumo de energia e a ampliação da matriz energética renovável. O principal agente regulador na China é o State Grid Corporation of China – SGCC que mantém parcerias com outras instituições do governo, da indústria e de serviços [13].

Grandes investimentos já estão sendo feitos, principalmente na província de Sichuan, onde já há um acelerado desenvolvimento de transmissão de energia baseado em uma avançada comunicação, tecnologia de controle e automação digital, porém ainda são necessários grandes investimentos em segurança de informação.

#### 4.1.3.2 JAPÃO

Através do uso das energias renováveis, da medição inteligente e dos serviços, dos veículos elétricos, o país está conseguindo implantar as Smart Grids, através de parcerias importantes como a da Japan Community Alliance – JSCA [13].

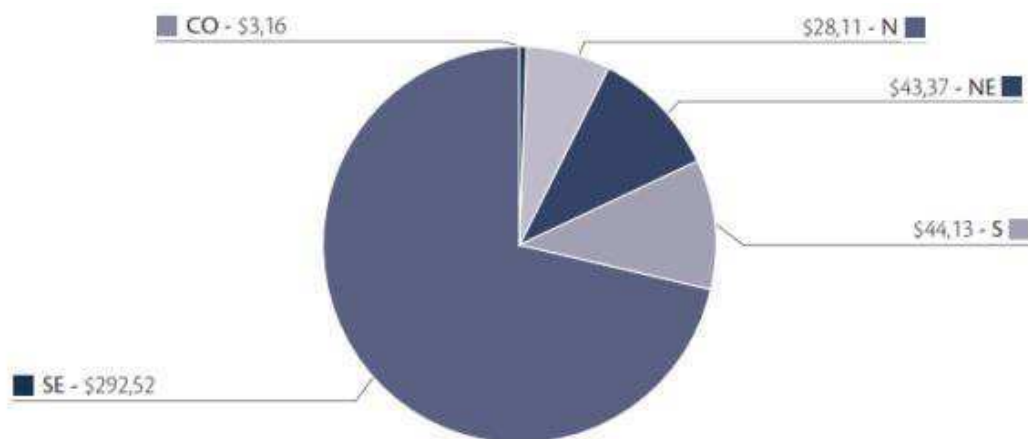
Os diversos projetos pilotos na Europa mostram seu comprometimento em cumprir as metas estabelecidas da Agenda 20-20-20, ampliando a matriz de renováveis e reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub>. Nos Estados Unidos, o principal objetivo é melhorar as redes de distribuição e a Ásia-Pacífico quer atender a crescente demanda por energia através de uma matriz limpa. Desta análise é possível definir as potenciais barreiras a serem enfrentadas, principalmente no que diz respeito à regulação e dos custos relacionados com a substituição dos medidores e podendo definir quais serão os dilemas políticos e práticos na implantação das redes inteligentes no Brasil [13].

## 4.2 CENÁRIO NACIONAL

Atualmente o Brasil dispõe de diversas iniciativas em pesquisas de P&D e de demonstração no universo das redes inteligentes, que estão sendo realizadas através de parcerias do governo com institutos, universidades, concessionárias e empresas fabricantes do ramo. Ambas são coordenadas pelos agentes reguladores do país [13].

Segundo a ANEEL, o país detém de aproximadamente 178 projetos de P&D relacionados à automação das redes de distribuição, *smart meters*, microgeração e minigeração distribuída, sistemas de armazenamento (EVs e PHEVs), Tecnologias da informação e comunicação (TICs), casas e edifícios inteligentes entre outros, somando cerca de R\$ 411,3 milhões investidos. Estes investimentos podem ser observados na figura 12 a seguir [13]:

Figura 12: Custos Totais dos Projetos em Redes Inteligentes por Região.



Fonte: [13]

No Brasil, os principais motivadores para implantar smart grid estão relacionados com as perdas técnicas e não-técnicas no sistema, promoção da medição inteligente do consumo, eficiência da operação da rede, a redução dos custos operacionais e dos apagões, diminuição da inadimplência, gerando acima de tudo a satisfação do cliente [17].

Com os últimos avanços tecnológicos nos setores da energia, telecomunicações e informação, foi possível realizar muitos dos projetos P&D no país e, os principais projetos serão relatados a seguir:

A distribuidora AMPLA apresenta o caso de maior evidência nas experiências com medição inteligente. Nesse contexto, destaca-se o Sistema de Medição Centralizada – SMC, que consiste em uma aplicação que utiliza módulos eletrônicos agregados destinados à medição, exercendo as funções de concentração, processamento e indicação das informações de consumo de forma centralizada (medição exteriorizada e blindada). Nesse sistema os medidores de energia ficam localizados no alto dos postes, interligados a uma prumada de comunicação que concentra as leituras das diversas unidades consumidoras. A implantação do sistema possibilita leitura remota e realização de corte e religação à distância.

Outro caso de destaque é o projeto aplicado na cidade de Curitiba - área de concessão da Copel. A implantação teve foco na automação, com operação remota e autônoma da rede de distribuição e de subestações, além da otimização do controle sistema de distribuição a partir das soluções de georreferenciamento. Neste caso, os benefícios são relacionados, principalmente, com a redução das interrupções no fornecimento de energia elétrica.

Já a distribuidora Light destacou-se por criar diferentes projetos em programas de P&D. A empresa desenvolveu um modelo de medidor inteligente com funcionalidades avançadas, além de configuração que permite a medição centralizada e agrupada. Também foram desenvolvidos equipamentos inteligentes como módulos de comunicação (*gateways*), *display* (IHD), tomadas com indicação de consumo e possibilidade de chaveamento de cargas (*smart plugs*) e terminal de carregamento de veículos elétricos. Metodologias e plataformas de automação e *self healing* também foram criadas no programa, em especial para sistemas subterrâneos, foram criados canais de interação por meio de televisões, mensagens SMS, e-mail, aplicativos para telefones celulares e tablets, *Facebook*, *Twitter*, *web sites* e sistemas de telefonia *voice anywhere*. A interação com o consumidor e a forma de comunicação e de abordagem foram baseadas em metodologia de personas estudada pela distribuidora, método que considera características socioculturais, dados estatísticos e etnográficos para criar arquétipos de público alvo.

Além dos casos citados, atualmente o grande foco de redes inteligentes no Brasil é no desenvolvimento de projetos demonstrativos (pilotos) em municípios específicos (*smart cities*). Podemos destacar:

- Cidades do Futuro – CEMIG: Realizado em Sete Lagoas, MG e em parceria com o CPqD, FITec, Fapemig e a Solária, atua nas áreas da medição inteligente, sistemas de iluminação eficiente, utilizando LED, automação das redes de distribuição e das SEs, TICs e ainda o gerenciamento da rede e interface com os clientes/produtores [27], aplicando todas as tendências das REIs. Seus objetivos são promover a aceitação do consumidor a sua nova condição de produtor de energia, testar a viabilidade técnica e econômica da Smart Grid, implementar um modelo de referência de arquitetura de rede em larga escala, promover a disseminação do conhecimento sobre este novo cenário no setor de energia [12].

- Cidade Inteligente Búzios – AMPLA: Uma parceria com o governo do Rio de Janeiro e as concessionárias, AMPLA, ENDESA e ENEL. É a primeira cidade inteligente da América Latina. O projeto está elaborado para atender as áreas de

telecomunicações, controle, geração distribuída de energia, gerenciamento, armazenamento, iluminação pública e edifícios inteligentes, veículos elétricos e híbridos na matriz e a conscientização do consumidor/produzidor [13]. O local foi escolhido conforme sua importância turística e abriga um novo modelo de gestão de energia. O projeto atende 100.000 clientes entre residenciais e industriais e conta com a ampliação da matriz renovável com o uso das energias solar e eólica, tarifação diferenciada no horário de pico, cidadão produtor, edifícios e iluminação pública inteligente, controle em tempo real e remoto do consumo, veículos elétricos e postos de abastecimento da bateria, maior eficiência energética e a conscientização do consumidor [4].

- Smart Grid Light – LIGHT: O projeto está localizado no Rio de Janeiro, mas possui parceria com a empresa catarinense LACTEC, além do CPqD, Axxiom, CAS Tecnologia, INMETRO, CEMIG, universidades e fabricantes. É um programa bem amplo que abrange desde a automação das redes até as residências, por meio dos SM que serão instalados e poderão acompanhar o consumo em tempo real e dar um feedback ao consumidor para que o mesmo tome as atitudes necessárias em caso de consumo elevado [26]. Ele está configurado em cinco importantes áreas, tais como Plataforma Smart Grid, Gestão Otimizada da Rede Subterrânea e Aérea, Gestão da Smart Grid pelo Lado da Demanda, Gestão das Fontes Renováveis de Energia, Armazenamento de Energia e EV na rede [13].

- Projeto Parintins – Eletrobrás: O projeto conta com a integração entre distribuidoras do grupo Eletrobrás, Cetel, CPqD, as universidades UFF e UFMA. Ele pretende substituir cerca de 15.000 medidores analógicos pelos inteligentes no município de Parintins, automatizar equipamentos da rede de distribuição e fazer o monitoramento dos transformadores [13]. A escolha do local foi influenciada pela característica de abastecimento por um sistema isolado, permitindo um melhor acompanhamento da nova rede. É inovador e irá modificar o cotidiano da população [19].

- Smart Grid AES Eletropaulo – Eletropaulo: A distribuidora tem a parceria com o CPqD para desenvolver um sistema inteligente, com flexibilidade e capacidade de se autorecuperar capaz de atender tanto as necessidades das concessionárias quanto do cliente final [14]. A previsão é de se tornar o maior projeto em smart grid no país, atendendo mais de 60.000 consumidores. Inicialmente foram substituídos cerca de 2.100 medidores, atendendo aos municípios de Barueri e Vargem Grande Paulista.



Através do projeto, os clientes serão capazes de acompanhar em tempo real seu consumo e a concessionária poderá detectar falhas automaticamente e recuperar o sistema [14].

- InovCity – EDP Bandeirantes: As parcerias são entre o governo de São Paulo, a Ecil Informática e a Universidade de São Paulo (USP). Localizado em Aparecida – SP, o projeto ganhou subsídios no Brasil a partir do sucesso projeto piloto no município de Évora, Portugal. A EDP conseguiu consolidar a inovação e a sustentabilidade em uma só área [18]. Faz parte do projeto a medição inteligente nas unidades consumidoras, eficiência energética (cada residência receberá até seis lâmpadas eficientes), iluminação pública eficiente, veículos elétricos, microgeração distribuída e o desenvolvimento da conscientização da comunidade local [22].

- Cidade Inteligente Aquiraz – COELCE/ENDESA: As parcerias são com a Universidade Federal do Ceará, Instituto Federal de Educação, Tecnologia e Ciência, Synapsis Brasil e a Universidade de Fortaleza e o projeto visa desenvolver e implantar um piloto de Smart Grid no município. O mesmo possuirá um sistema de autorecuperação na rede de baixa tensão e na de média tensão, um sistema de autorecuperação e proteção, mas o principal objetivo é aumentar a eficiência energética da região [13].

No Brasil, apesar de existirem representantes de empresas estrangeiras apresentando soluções de redes inteligentes, são poucas as distribuidoras de energia no país que avaliaram internamente a aplicação deste novo conceito de tecnologia, principalmente pelo fato de envolver recursos extras, que ainda não são cobertos pelas tarifas existentes no mercado e também pela falta de uma regulamentação desta nova tecnologia. Observa-se que muitas das pesquisas são sobre desenvolvimento de uma plataforma interoperável para os medidores inteligentes, sistemas de gerenciamento pelo lado da demanda, veículos elétricos e os novos conversores para geração de energia através das fontes renováveis sendo estas realizadas principalmente por universidades e laboratórios de pesquisas [13].

Também, pode ser observado que os projetos têm um maior foco na elaboração de redes que reduzam o consumo de energia elétrica, que incentivem o uso consciente, e que a possam gerar de maneira sustentável. Porém, outras importantes áreas, como mobilidade urbana, economia, saúde e segurança pública carecem desses projetos. Por serem os segmentos de maior déficit nas cidades brasileiras, os desafios acabam sendo ainda maiores.

É cogente falar que as regiões com os maiores investimentos em redes inteligentes são o Sudeste e o Sul. Sendo a primeira com um número bem distribuído de projetos em todas as áreas das redes inteligentes, mas domina as pesquisas em relação aos veículos elétricos e a segunda com investimentos concentrados em microrredes e na geração distribuída. No Nordeste, a atuação é mais forte na área da automação da distribuição do sistema, apesar do grande potencial solar e eólica para a geração distribuída [13]. Pesquisas referentes à medição inteligente estão presentes em quase todas as regiões do país, enquanto sobre os novos serviços para o cliente final ainda não estão sendo realizadas [13].

Apesar da posição progressista da Agência Nacional de Energia Elétrica, na regulamentação das novas tecnologias para a implantação das redes elétricas inteligentes, o Brasil ainda está atrasado em relação a outros países no que diz respeito ao uso efetivo das smart grids. É muito importante que órgãos do governo incentivem as empresas do setor a implantar imediatamente estas novas tecnologias e que os consumidores, agora como agentes ativos da rede, difundam mais os conhecimentos e sejam conscientes em relação ao uso eficiente e eficaz da energia [10].

Os projetos piloto no país são de fundamental importância para fortalecer e criar diretrizes para a implantação em escala nacional das smart grids, desenvolver uma arquitetura de rede segura e interoperável para que as informações circulem sem prejuízos de ataques cibernéticos, protegendo a privacidade do cliente [13].

O IMETRO deverá também padronizar e certificar as tecnologias envolvidas neste processo, visto que no momento é o único fator que impede a comercialização dos medidores inteligentes, equipamento de fundamental importância para a viabilização das Smart Grids [12].

A crise econômica mundial demonstra a fragilidade do sistema econômico, especialmente para os países produtores de petróleo, com enorme dependência na produção de energia. A necessidade de diminuir as emissões de gases do efeito estufa é um dos motivos que sustenta este novo paradigma.

Redes inteligentes de energia definitivamente estão sendo consideradas como o que se tem de mais moderno no ramo elétrico. Elas devem proporcionar a segurança e qualidade do fornecimento de energia, logo, é fundamental a participação ativa do agente regulador do governo na criação e desenvolvimento de um plano de rede inteligente bem estruturado, que incentive e viabilize a implantação deste novo conceito de sistema energético.

## 5 DAS REDES INTELIGENTES ÀS CIDADES INTELIGENTES

As redes inteligentes representam o elemento principal para o desenvolvimento das cidades inteligentes – Smart City baseadas na proteção ambiental, eficiência energética e sustentabilidade. Infraestrutura, serviços e tecnologia se juntam para criar cidades mais próximas ao cidadão, onde o consumo consciente de energia e a redução das emissões de gases poluentes fazem parte do cotidiano da sociedade. Nas cidades inteligentes, a rede elétrica é automatizada, as fontes renováveis são integradas ao sistema, o cliente pode produzir sua própria energia e veículos elétricos tornam-se alternativas viáveis para o transporte. Além disso, a iluminação pública e os edifícios utilizam tecnologias modernas que os tornam inteligentes, evitando desperdícios e preservando o meio ambiente.

As cidades inteligentes promovem a sustentabilidade, inclusão e inovação através de políticas integradas, fazendo com que as tecnologias da informação e comunicação, assumam um papel importante para chegar à meta pretendida.

Para que se atinja o sucesso almejado pelas aplicações de Smart Cities, é fundamental que se invista na tecnologia que dará suporte a ela que possibilitará seu correto funcionamento. Portanto, a implantação e manutenção de uma base sólida e eficiente são primordiais.

Outro fator importante que deve ser considerado é a eficiência energética. A rede e toda a infraestrutura de uma Smart City devem almejar eficiência com baixo custo operacional e com menor consumo energético, atingindo um equilíbrio entre a experiência de seus cidadãos e o desenvolvimento sustentável alinhado com a preocupação ambiental.

Várias cidades ao redor do globo já são consideradas inteligentes, de acordo com diferentes tipos de rankings existentes e análises.

Segundo a IESE (2016), que elabora um ranking anual, New York é atualmente a cidade mais inteligente no mundo. Completam ainda o pódio Londres e Paris, respectivamente nas segunda e terceira posições. Para estabelecer essa classificação avaliou o nível de desenvolvimento em 181 cidades (incluindo 72 capitais) em mais de 80 países. Indicadores ao longo de 10 diferentes dimensões: governança, gestão pública, planejamento urbano, tecnologia, meio ambiente, alcance internacional, coesão social, mobilidade e transporte, capital humano e economia (figura 13) [24].

Figura 13: As 10 Cidades mais bem Colocadas no Ranking da IESE



No Brasil, o cenário atual é um pouco diferente. Com exceção da cidade de Curitiba, nenhuma outra cidade brasileira fica nas primeiras posições dos principais rankings de cidades inteligentes estudados atualmente. Apesar disso, o futuro é promissor, pelo menos em algumas áreas, como rede elétrica e TIC.

Dentre os projetos no Brasil, vale destacar o de Búzios, no Rio de Janeiro, onde já se encontra em avançado estágio de implementação com alguns projetos e outros em fase final, e se autoconsidera como a primeira cidade inteligente da América Latina.

## 5.1 PROJETO CIDADE INTELIGENTE BÚZIOS, BRASIL

Para compreender o que é uma cidade inteligente, não basta entender os conceitos, mas também o seu funcionamento. É importante destacar que esse tipo de cidade não opera igualmente a outras, ou seja, o funcionamento de uma cidade inteligente varia de acordo com suas características e sistemas implantados. A seguir será exemplificado um caso de cidade inteligente: Búzios, no Rio de Janeiro.

Na cidade de Armação do Búzios, balneário turístico do Rio de Janeiro, o projeto *Búzios Smart City* está sendo desenvolvido pela concessionária local AMPLA e a empresa ENEL. O projeto visa à construção de um ambiente sustentável, a partir do uso de fontes de energia renováveis, da otimização dos recursos e do controle de consumo de energia individual em tempo real. A cidade funciona como um laboratório aberto. O principal pressuposto do projeto é a constituição de um *Smart Grid*, que combina

diretrizes de geração e gestão inteligente de energia (com adoção de tarifas diferenciadas de acordo com o horário de consumo), de iluminação pública inteligente, de otimização no sistema de telecomunicações, de implantação de prédios inteligentes e de conscientização do cidadão[20].

Tal interação permite a redução do custo de exploração, aumenta a eficiência energética, desenvolvendo a inovação e o conhecimento, envolvendo diversos parceiros empresariais. Potencializa também a sustentabilidade nas vertentes ambiental, econômica e social, promovendo as energias renováveis e o conceito de mobilidade elétrica.

### 5.1.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

O projeto pretende implementar um modelo de cidade sustentável que tenha as principais características:

- Uso de fontes renováveis, como energia eólica e solar;
- Tarifa diferenciada por horário de consumo com até 30% de economia;
- O cidadão poderá gerar e vender energia;
- Prédios inteligentes com instalações adequadas ao novo modelo;
- Controle do consumo em tempo real por ambiente e por aparelho;
- Iluminação pública com lâmpadas de LED, mais econômicas e eficientes;
- Controle remoto da rede, com ajustes automáticos em tempo real;
- Maior eficiência energética para reduzir o impacto no meio ambiente;
- Incentivo ao consumo consciente e engajamento da população.

### 5.1.2 MEDIÇÃO INTELIGENTE

A Medição Inteligente trouxe para Búzios um novo conceito de gerenciamento do fornecimento e do consumo de energia elétrica. Entre tantas inovações, o medidor inteligente possibilita a medição horária do consumo de energia, corte e religação remotos do fornecimento e possibilita a medição bidirecional, necessária para a implantação de Geração Distribuída pelo cliente.

A coleta de todas essas informações permite que haja uma distribuição mais eficaz da energia, o que traz eficiência da rede, controle e qualidade. Também, através

das leituras automáticas o sistema processa as informações para o faturamento e controla a qualidade do serviço, o que traz eficiência e satisfação para o cliente.

### 5.1.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Com o Sistema de Geração Inteligente de Energia, a distribuição da energia será bidirecional. O cliente poderá produzir, consumir e reintroduzir energia no sistema, de acordo com as suas necessidades, usando tecnologias de geração renováveis, como a solar e a eólica, uma rede que interliga a todos (figura 14).

Figura 14: Energias Renováveis



Fonte: [20]

### 5.1.4 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Um conjunto de baterias eficientes é capaz de armazenar grande quantidade de energia elétrica. Com este sistema, é possível acumular a energia gerada pelas centrais geradoras renováveis que não é consumida no mesmo instante pelos clientes.

A energia armazenada poderá ser utilizada em momentos de grande consumo como, por exemplo, nos horários de pico. A utilização desta tecnologia possibilitará o equilíbrio entre a produção e o consumo de energia elétrica. Será possível, por exemplo, carregar as baterias através da energia solar no período do dia e utilizar esta energia armazenada no período da noite nas residências, pousadas, restaurantes, entre outros estabelecimentos.

### 5.1.5 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Para a iluminação pública inteligente, luminárias com uma nova tecnologia de LED serão instaladas, onde é possível regular os níveis de luminosidade em função do horário e o fluxo de pessoas, sendo possível variar a potência e evitar desperdícios e

proporcionam redução significativa no custo de manutenção em relação às lâmpadas convencionais (figura 15).

Figura 15: Iluminação Inteligente



Fonte: [20]

#### 5.1.6 VEICULO ELÉTRICO

Graças às redes inteligentes, a mobilidade elétrica está se tornando uma realidade. Hoje em dia é possível instalar postos de recarga em estacionamentos ou diretamente na garagem de casa (HomeStation).

Os veículos elétricos reduzem drasticamente as emissões de CO<sub>2</sub> produzidas pelos combustíveis fósseis e podem contribuir para diminuir a poluição nas áreas urbanas, o efeito estufa e o aquecimento global [20].

Figura 16: Veículo Elétrico



Fonte: [20]

O Projeto Cidade Inteligente Búzios estuda, por meio de um projeto-piloto, a integração das tecnologias de veículos elétricos às redes inteligentes. Serão avaliados o impacto na demanda de energia, a utilização dos veículos como fonte alternativa de energia, aspectos técnicos, econômicos e regulatórios, além do impacto na mobilidade urbana da cidade. O projeto prevê a utilização carros e bicicletas elétricas, eletropostos de recarga, além da instalação de estações residenciais[20].

#### 5.1.7 PRÉDIOS INTELIGENTES

Graças às redes inteligentes e ao medidor eletrônico, estão surgindo as casas inteligentes, onde as soluções tecnológicas mais avançadas permitem melhorar o conforto habitacional e consumir de forma racional, com importantes vantagens para o meio ambiente.

A Enel distribuidora projetou, junto com a Electrolux, a Indesit e a Telecom Italia, a Energy@home para desenvolver uma plataforma de comunicação entre eletrodomésticos apropriada para regular os consumos de toda a casa e evitar picos e sobrecargas de rede. Futuramente este projeto chegará a Búzios [20].

Serão implantados sistemas capazes de interagir com a rede elétrica e com os aparelhos presentes nas casas. Em pouco tempo estarão disponíveis as tarifas multi-horárias, e logo os eletrodomésticos poderão ser controlados à distância.

O consumidor será totalmente informado e poderá escolher entre consumir ou vender a energia, bem como administrar seu consumo, reduzir seus gastos e proteger o meio ambiente. O projeto aposta como diferencial a integração social. Para isso, programas com palestras, oficinas, cinema e cursos de capacitação incentivarão o uso consciente e eficiente da energia. Dessa forma, o sucesso da Cidade Inteligente Búzios depende diretamente da mudança de atitude de seu cidadão, que é o centro da atenção [20].

#### 5.1.8 INTEGRAÇÃO SOCIOAMBIENTAL

Na Cidade Inteligente, o cidadão é protagonista do processo. Por isso, para que o projeto tenha sucesso, é preciso que os clientes fiquem sempre atentos às orientações e práticas de consumo consciente de energia elétrica. Além disso, a Ampla, como principal mentora do projeto, tem a função de informar o consumidor sobre as possibilidades oferecidas pelos recursos naturais, esclarecendo e orientando toda a



sociedade sobre o projeto, sempre incentivando a disseminação dos conceitos de sustentabilidade.

A Cidade Inteligente Búzios tem como um dos pilares a integração social. A cidade que queremos construir também é fruto da participação de cidadãos que se envolvem no processo de integração tecnológica em prol do desenvolvimento sustentável. As atividades de integração social fazem parte do programa Consciência AMPLA, cujo foco é a educação para o consumo consciente de energia e outros recursos [20].

Na cidade inteligente, as tecnologias utilizadas são implementadas de forma que gere menos impacto ambiental para manter a riqueza natural do planeta e gerar bem-estar social. Existe a consciência de que a tecnologia sozinha não salva o mundo, mas a forma como as pessoas a utilizam e sua ação em seu dia a dia podem fazer toda a diferença. Por isso, há o incentivo por parte da Ampla na formação de uma rede de relacionamento, a fim de multiplicar esse conceito entre os cidadãos de Búzios, articular, discutir e contribuir na construção da identidade da Cidade Inteligente. Sua atuação nas escolas é feita por meio das seguintes linhas de ação:

- Capacitação de professores;
- Oficinas com alunos: Uso da Energia;
- Oficinas com alunos: Identidade Local;
- Oficinas com pais e funcionários da escola;
- Rodas de debates;

O projeto Cidade Inteligente Búzios possui ações já implantadas ou em execução na cidade de Búzios, em vista a atender 10.363 clientes, sendo 13 industriais, 1.518 comerciais e serviços públicos e 8.832 residenciais, contando também com uma previsão de instalação de 25 pontos de automação, além da utilização de 3 linhas de média tensão (15 kV), com 67 km de circuitos, 450 transformadores de média/baixa tensão e tendo como previsão de consumo de 55 GWh/ano [33].

## 6 CONCLUSÃO

Diversos motivadores estão levando os principais países do mundo a tornar em mais inteligentes suas redes – não só de energia elétrica, mas também de água, esgoto, gás etc. –, cidades e lares.

A implantação das redes inteligentes trará muitos benefícios para as empresas concessionárias de energia elétrica, consumidores, provedores de tecnologia e serviço e para o meio ambiente.

As empresas de energia elétrica poderão gerenciar a rede de maneira mais eficiente, tornando o sistema mais confiável e seguro, já que a nova rede disporá de tecnologia informação, automação e comunicações para o seu monitoramento e controle.

As redes inteligentes de energia já são uma realidade em nível internacional. As mesmas estão fortemente se difundindo através de diversos programas de P&D e de demonstração, sempre buscando a eficiência energética, gerenciamento pelo lado da demanda, controle do consumo em tempo real, segurança da rede, interoperabilidade dos sistemas e a introdução dos EVs e das fontes renováveis para diminuir o consumo dos combustíveis fósseis e as agressões ao meio ambiente.

No Brasil, a implementação das redes elétricas ocorre principalmente através de planos-pilotos em municípios, chamados de cidades inteligentes, de maneira lenta, devido à necessidade de toda uma reformulação física e computacional, pois cada região tem suas próprias especificações.

O desafio de implementar as redes elétricas inteligentes no Brasil é grande, precisa-se de incentivos por parte do governo, além de que se faz necessária toda uma infraestrutura de hardwares e softwares para medição, gerenciamento e transmissão de dados, o aprimoramento da rede, dentre outros. Será necessário encontrar soluções eficientes e seguras visando sempre melhorar a qualidade do serviço oferecido aos usuários e a redução de custos.

A implantação das Smart Grids certamente irá tornar o país mais sustentável de modo que possibilitará a melhor utilização dos recursos renováveis disponíveis, reduzirá custos de geração e de utilização de energia, e certamente contribuirá para a redução de poluição do planeta.

## REFERÊNCIAS

- [1] AQUINO, ANDRÉ L.L. et al. **Cidades Inteligentes, um Novo Paradigma da Sociedade do Conhecimento**. São Paulo: Blucher, 2015.
- [2] ABOBOREIRA, F. L.; CRUZ, A. F. S. **A importância do smart grid na rede elétrica de distribuição do Brasil**. In: XV SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica. UNIFASC, 2016.
- [3] ALCÂNTARA, M. V. P. Regulação e Incentivo às Redes Inteligentes no Brasil. Workshop sobre Redes Inteligentes de Energia – Smart Grid. ANEEL, Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética – SPE. Salvador, 2012.
- [4] AMPLA. **Cidades Inteligente Búzios**. Disponível em: . Acesso em: Fev. 2017.
- [5] ANEEL. **Geração Distribuída**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/informacoestecnicas/asset\\_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/informacoestecnicas/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false)>. Acesso em: 12 fev. 2017.
- [6] ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **CHAMADA Nº 011/2010 Projeto Estratégico: “Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente”**. Brasília: ANEEL, 2010.
- [7] ARRUDA, M. V. N.; OLIVEIRA, R. **Implementação de Projetos Smart Grid no Brasil**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Mato Grosso, Cuiabá, Brasil, 2013.
- [8] CAIRES, Luis Eduardo. **Aplicação de redes inteligentes nas instalações elétricas residenciais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- [9] CAMPOS, ALEXANDRE. **Gerenciamento pelo lado da demanda: um estudo de caso**. São Paulo, 2004
- [10] CANAZIO, A. **Smart Grid Inicia Revolução no Setor Elétrico: Rede inteligente significa alterar um modelo de negócio com um século de vida e dar mais poder ao consumidor**. Canal Energia: 2009.
- [11] CASTRO, B. H. R.; FERREIRA, T. T. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDS, 2010.
- [12] CEMIG, COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Portal da Companhia Energética de Minas Gerais. 2012. Disponível em: . Acesso em: Fev. 2017.
- [13] CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Redes Elétricas Inteligentes: Contexto Nacional**. Série de Documentos Técnicos nº 16. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília, DF – 2012.
- [14] [CPqD, 2013] Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em telecomunicações. **Smart Grid AES Eletropaulo**. Disponível em: <[www.cpqd.com.br](http://www.cpqd.com.br)>. Acesso em: março 2017.
- [15] CRAVEIRO, et al. **InovaCity – Building Smart Grid in Portugal**. CIRED - 21st *International Conference on Electricity Distribution*. Frankfurt, 2011.
- [16] D-Link, <[dlink.com.br](http://dlink.com.br)> Acesso em: março 2017.
- [17] DUTRA, et al. **Redes Elétricas Inteligentes no Brasil: Subsídios para um plano nacional de implantação**. v 2, 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: Synergia, 2013.

- [18] EDP Distribuição, 2013. **InovCity**. Disponível em: <www.edp.pt>. Acesso em: março de 2017.
- [19] ELETROBRAS. **Projeto Parintins**. Disponível em: . Acesso em: Fev. 2017.
- [20] ENEL. **Cidade inteligente Búzios**. Disponível em: <http://www.cidadeinteligentebuzios.com.br>. Acesso em 15 março 2017.
- [21] EPRI. Electric Power Research Institute. **Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid**. EPRI Report, March 2011.
- [22] FALCO, R. **Smart Grid – Tendências e Aplicações na Europa**. 2007.
- [23] FERREIRA, M. C. A. F. **Perspectivas e Desafios para a Implantação das Smart Grids: um estudo de caso dos EUA, Portugal e Brasil**. 2010. Monografia (Bacharelado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
- [24] IESE. **Which Are the World’s “Smartest” Cities?** Disponível em: <http://ieeseinsight.com/doc.aspx?id=1819&ar=6&idioma=2>. Acesso em 12 março 2017.
- [25] LAMIN, HUGO. **Análise de Impacto Regulatório da implantação de redes inteligentes no Brasil**. 2013. 300f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.
- [26] LIGHT. **Projeto Smart Grid Light**. Disponível em: <www.light.com.br>. Acesso em: março 2017.
- [27] LOPES et al. Smart Grid e IEC 61859: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico. Minicurso para o **XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações**, Brasília, 2012.
- [28] MEDEIROS, R A O. **Smart Grids: As redes Elétricas Inteligentes e Sua Implementação**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Elétrica e Informática, Campina Grande, 2013.
- [29] MME, Relatório Smart Grid, Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. Ministério de Minas e Energia, 2010.
- [30] OWEN, G; WARD, J. Smart Meters in Great Britain: the next steps? **Sustainability First**: 2007.
- [31] OLIVEIRA, V. R. A importância das redes inteligentes na otimização da aplicação de novos recursos para a expansão do sistema elétrico. **Revista GTD**, 40 ed. São Paulo: Lumière, 2010.
- [32] PIKE RESEARCH LLC - PIKE RESEARCH. **Electrical Vehicles in Asia Pacific**: 2010. Disponível em: . Acesso em: Fev. 2017.
- [33] Projetos Piloto no Brasil. Disponível em: <<http://redesinteligentesbrasil.org.br/projetos-piloto-brasil.html>>. Acesso em 13 março. 2017.
- [34] RIVERA, R.; ESPOSITO, A.S.; TEIXEIRA, I. Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local. **Revista do BNDES**, v. 40, Dezembro, 2013.
- [35] SILVA, N. **Smart Grids e Veículos Elétricos**. [s.l.: s.n.], 2012
- [36] TOLEDO, F. **Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes: Smart Grid Handbook**. 2012. Brasport livros e multimídia LTDA (edição digital).