



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

ROMERO ÁLAMO OLIVEIRA DE MEDEIROS

*SMART GRIDS: AS REDES ELÉTRICAS
INTELIGENTES E SUA IMPLANTAÇÃO*

Campina Grande, Paraíba
Outubro de 2013

ROMERO ÁLAMO OLIVEIRA DE MEDEIROS

*SMART GRIDS: AS REDES ELÉTRICAS
INTELIGENTES E SUA IMPLANTAÇÃO*

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade 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 George Rossany Soares de Lira

Campina Grande, Paraíba
Outubro de 2013

ROMERO ÁLAMO OLIVEIRA DE MEDEIROS

*SMART GRIDS: AS REDES ELÉTRICAS
INTELIGENTES E SUA IMPLANTAÇÃO*

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade 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 / /

Professor Karcus Marcelus Colaço Dantas
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador, UFCG

Professor George Rossany Soares de Lira
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui, em especial, à minha querida mãe.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus. Só Ele sabe o quanto este caminho foi tortuoso e cheio de obstáculos. Nas horas de desespero e escuridão somente Ele mostrava uma luz.

Agradeço imensamente aos meus pais, Romero e Berta, pela paciência, compreensão e apoio constante em minha vida acadêmica.

Aos meus avós, especialmente meu avô Pai Quinca que, apesar de não estar mais entre nós, nunca me deixou desistir. Como ele já dizia: “Meu primeiro neto engenheiro”.

Ao apoio da minha namorada Valdênia. Realmente, foi ela que acompanhou esta jornada do lugar mais perto possível e sabe exatamente o que sofri e o que vivi.

A todos meus familiares, meus irmãos Gibran e Beíza, meu irmãozinho Raphael, que, em muitas vezes foi a única alegria num dia péssimo e cansativo.

Um agradecimento especial ao meu professor orientador George Rossany Soares de Lira. Obrigado pela paciência e confiança.

Agradeço a todo o corpo docente da UFCG que contribuiu para minha formação, não só acadêmica, mas como indivíduo, sendo profissional e ético.

Agradeço imensamente a Adail e Tchai. Seria impossível chegar até aqui sem uma coordenação eficiente e dedicada.

Agradeço também a todos os colegas e amigos que caminharam ao meu lado em alguma disciplina ou que de alguma forma contribuíram nos momentos de lazer e descontração.

*“Que os vossos esforços desafiem
as impossibilidades, lembrai-vos
de que as grandes coisas do homem
foram conquistadas do que parecia
impossível.”*

Charles Chaplin.

RESUMO

As redes elétricas inteligentes, *smart grids*, têm tudo pra mudar o setor elétrico incorporando novas tecnologias, conceitos e comunicação ao sistema. O presente trabalho aborda os fundamentos e conceitos relacionados com o tema e discute as mais diversas tecnologias e equipamentos, provavelmente, existentes na maioria dos projetos de redes elétricas inteligentes. Além de conter informações a respeito do atual cenário nacional e mundial, este trabalho ainda traz dois exemplos de projetos em redes elétricas inteligentes, o projeto *InovCity* na cidade de Évora em Portugal e o Programa *Smart Grid Light* no Rio de Janeiro. Logo, este trabalho tem um caráter informativo e tem o intuito de trazer aspectos gerais, com relação ao conceito de *Smart Grids*, para a comunidade acadêmica.

Palavras-chave: Redes Elétricas Inteligentes, Eficiência Energética, Inovação Tecnológica.

ABSTRACT

The smart grids have everything to change the electricity sector incorporating new technologies, concepts and communication to the system. This work discusses the fundamentals and concepts related to the subject and discuss the different technologies and equipment, probably inserted in most designs of smart grids. Besides containing information about the current national and global scenario, this work also brings two examples of projects in smart grids, the project InovCity in Évora - Portugal and Smart Grid Light Program in Rio de Janeiro. Therefore, this work has an informative character and aims to bring general aspects with respect to the concept of Smart Grids, for the academic community.

Keywords: Smart Grids, Energy Efficiency, Technological Innovation.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação	1
1.2	Desafios	2
1.2.1	Conservadorismo	2
1.2.2	Padronização e Tecnologia	3
2	Fundamentos de uma Rede Elétrica Inteligente	4
2.1	<i>Smart Grid</i> - Conceito.....	4
2.2	Interoperabilidade e Intercambialidade.....	5
2.3	Geração Pelo Lado da Demanda (GLD).....	6
2.4	Geração Distribuída	7
2.5	Infraestrutura de Telecomunicações	7
3	Tecnologias de uma rede Elétrica Inteligente.....	9
3.1	Medição e Automação Inteligente	9
3.2	<i>Smart Homes</i> (Automação Residencial)	13
3.2.1	<i>In Home Display</i> (IHD)	13
3.2.2	<i>Smart Appliances</i> (Eletrodomésticos Inteligentes)	15
3.2.3	Tomadas Inteligentes	16
3.2.4	<i>Multi-Utilities</i>	17
3.2.5	Iluminação Residencial.....	17
3.3	<i>Smart Cities</i>	18
3.3.1	Iluminação Pública Inteligente	18
3.3.2	O Veículo Elétrico	19
4	<i>Smart grids</i> hoje	22
4.1	Cenário Mundial	22
4.1.1	Europa	23
4.1.2	Estados Unidos	24
4.1.3	Outros Países	25
4.2	Cenário Nacional	27
5	Exemplos de Programas <i>Smart Cities</i>	29
5.1	Projeto <i>InovCity</i> – Évora, Portugal	29
5.1.1	Características do Projeto	30
5.1.1.1	<i>Energy box</i>	30
5.1.1.2	<i>Distribution Transformer Controller</i> (DTC).....	31
5.1.1.3	Iluminação Pública.....	32
5.1.1.4	Microprodução	34
5.1.1.5	Mobilidade Elétrica.....	34
5.1.1.6	Estudo de Eficiência Energética dos Clientes Domésticos.....	35

5.2	Projeto <i>Smart Grid Light</i> – Rio de Janeiro	38
5.2.1	Planejamento	38
5.2.2	Execução do Programa	41
5.2.2.1	Projeto L1	41
5.2.2.2	Projeto L2.....	46
5.2.2.3	Projeto L3.....	46
5.2.2.4	Projeto L4.....	47
5.2.2.5	Projeto L5.....	53
5.2.3	Resultados preliminares.....	54
6	Conclusão	55
7	Bibliografia.....	56

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a forma de distribuição de energia elétrica não é muito diferente do que George Westinghouse propôs no final do século XIX. Diferentemente dos consideráveis avanços na área de telecomunicações, o sistema elétrico não sofreu nenhuma grande revolução, o que implicaria na quebra de paradigmas e a efetiva inovação do setor [1].

Já faz algum tempo que as tecnologias de informação e comunicação estão inseridas nos sistemas de geração e transmissão de energia elétrica. Atualmente, no setor elétrico brasileiro, existem sistemas de automação e controle que utilizam tecnologias para monitorar praticamente todos os principais centros, como por exemplo, o sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) [2]. Mas isto ocorre de forma isolada do sistema de distribuição de energia elétrica, abaixo de 34,5 kV, que é bem mais complexo e com um alto número de consumidores.

Essa revolução no setor elétrico, em especial no segmento de distribuição, permite uma série de possibilidades: participação mais ativa dos consumidores, disponibilização de mais informações, prestação de novos serviços, aperfeiçoamento da gestão de ativos, eficiência energética, melhoria da qualidade da energia e o combate de alguns problemas vivenciados no Brasil como, por exemplo, as perdas não técnicas. Os benefícios das redes inteligentes espalham-se por toda a sociedade e abrangem tanto as empresas distribuidoras quanto os consumidores, além de possibilitar ganhos fora do setor elétrico [3].

1.1 MOTIVAÇÃO

As redes elétricas inteligentes, *smart grids*, já são uma realidade mundial, e, prometem revolucionar o setor elétrico. Uma rede inteligente pode ser composta por tecnologias, equipamentos, sistemas de automação, computadores, linhas de transmissão, todos interligados, trocando informações. A ideia é que nos próximos anos, tudo que gere ou consuma energia elétrica estará conectado, assemelhando-se ao que a internet é hoje no que se diz respeito aos sistemas de comunicação. Observa-se na Figura 1 a provável evolução na comunicação do sistema elétrico.

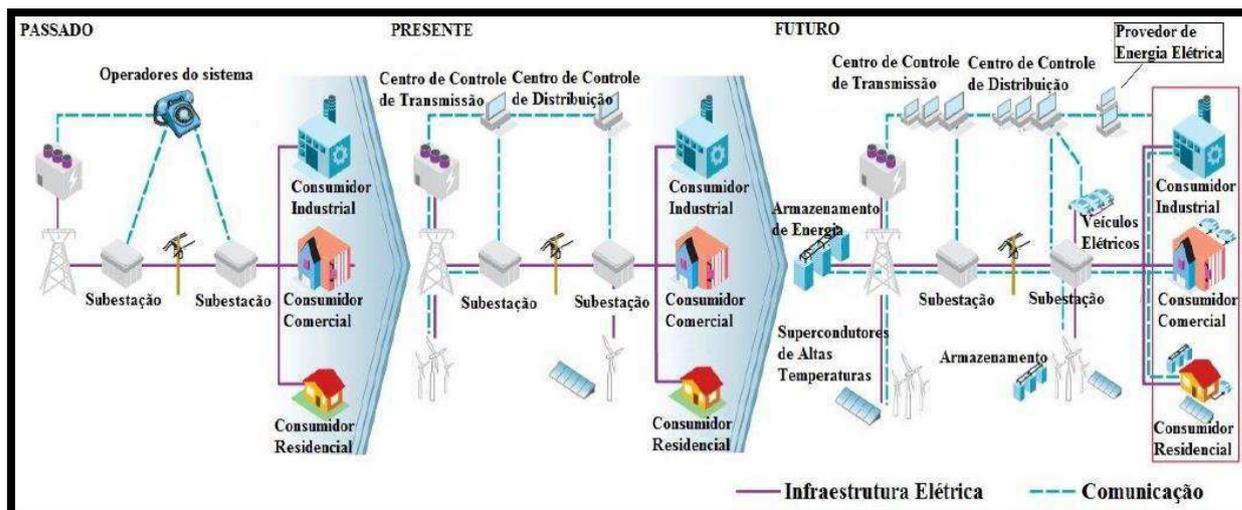


Figura 1 – Evolução das redes de energia elétrica [4].

Esta possível transformação do setor elétrico trará muitos benefícios não só para as concessionárias de energia elétrica, como também, para os consumidores, os órgãos reguladores, o meio ambiente e o sistema elétrico como um todo. Enfim, toda a sociedade será beneficiada com a implantação da *Smart Grid*.

A participação mais ativa do consumidor no mercado, podendo comprar e vender energia elétrica, a melhoria da qualidade dos serviços prestados pela concessionária, detecção e correção de falhas na rede em tempo real, a medição inteligente e a redução das perdas não técnicas são exemplos de benefícios da implantação desta tecnologia.

1.2 DESAFIOS

Apesar das diversas vantagens, a implantação das redes inteligentes depara-se com diversos obstáculos. Podemos separá-los em dois grandes blocos: desafios a cerca do conservadorismo do setor elétrico e os desafios a cerca da padronização e tecnologia.

1.2.1 CONSERVADORISMO

As empresas do setor elétrico, normalmente, são bastantes conservadoras, principalmente no Brasil. A implantação de novas tecnologias e/ou equipamentos não ocorre apenas se for comprovada sua eficácia e confiabilidade. O receio de que uma mudança possa acarretar sérias consequências ao setor faz com que as empresas optem

pelo velho e conhecido ditado “pra que mexer no que está quieto?”. Por isso a maioria das mudanças no setor elétrico acontece depois de grandes interrupções no fornecimento de energia elétrica, ou seja, quando toda a sociedade é afetada financeiramente. Como a implantação em larga escala das redes elétricas inteligentes envolveria custos elevados, os projetos piloto, ainda em desenvolvimento no Brasil, teriam que apresentar grandes vantagens.

1.2.2 PADRONIZAÇÃO E TECNOLOGIA

A implantação das redes elétricas inteligentes só pode ser feita com o desenvolvimento de novos sistemas e equipamentos com o objetivo de atender diferentes necessidades das distribuidoras e dos consumidores. Sistemas estes, capazes de realizar medição inteligente, automação de redes aéreas e subterrâneas, tratamento de cargas especiais como o carro elétrico etc. Além de desenvolver novos sistemas, é preciso assegurar que eles possam se conectar utilizando sistemas de comunicação compatíveis com o objetivo de garantir que diferentes soluções, sistemas e equipamentos possam ser adicionados a uma mesma rede inteligente sem necessidade de adaptação. Por exemplo, já existem no mercado vários sistemas de diferentes fabricantes que atendem a algumas necessidades específicas com respeito à implantação das redes elétricas inteligentes. Apesar de diversos equipamentos já atenderem requisitos de normas específicas no tema *smart grids*, como a IEC 61850 [5], a existência de um número excessivo de protocolos em diversas áreas e com diversas finalidades trazem problemas na comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes. A falta de interoperabilidade e intercambialidade destes sistemas fazem com que as concessionárias tenham poucas opções na hora de adicionar ou substituir dispositivos em uma rede, a não ser dispositivos e soluções de um ou poucos fabricantes.

2 FUNDAMENTOS DE UMA REDE ELÉTRICA INTELIGENTE

O conceito de redes elétricas inteligentes está inserido em diversas áreas, logo, antes de focar nas tecnologias envolvidas em sua implantação, se faz necessário esclarecer alguns conceitos e teorias relacionados com o tema.

2.1 *SMART GRID* - CONCEITO

Não existe um conceito universal do que seria uma rede elétrica inteligente. Quando se fala em rede elétrica inteligente, *smart grid*, é comum imaginar um produto pronto, mas, na verdade, é um conceito tecnológico bastante amplo e com características diferentes para cada país, levando-se em consideração a estrutura, legislação e peculiaridades de cada um.

De acordo com *U. S. Department of Energy (2009)*, *smart grid* não é uma “coisa”, mas uma visão a ser completada, e que deve ser construída de acordo com as necessidades do mercado onde será implementado e tomando em conta múltiplas perspectivas, entre elas, tecnológica, ambiental, socioeconômica e político-regulatória.

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.

2.2 INTEROPERABILIDADE E INTERCAMBIALIDADE

De acordo com o Grande Dicionário Sacconi, interoperabilidade é a “Capacidade de um sistema de se comunicar de forma transparente com outro, semelhante ou não, compartilhando dados entre si” [6].

A intercambialidade é a possibilidade de trocar determinado equipamento por outro equivalente de outro fabricante, mantendo intactos tanto padrões lógicos quanto físicos [1].

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.

Os fatores interoperabilidade e intercambialidade se aplicam a varias categorias; entre elas, são consideradas fundamentais:

- A construção física dos equipamentos deve possuir limitações de modo que dois ou mais dispositivos, embora sujeitos a diferentes escolhas de design, possam ser usados.
- A mídia de comunicação, seja por radiofrequência, por comunicação via rede elétrica ou qualquer outra, incluindo as portas de comunicação locais dos dispositivos, deve ser compatível entre os diferentes fabricantes.
- O protocolo de dados, equivalente ao idioma falado entre diferentes países, deve ser o mesmo.
- A interface, ou o conjunto de informações – em tipo e forma de apresentação –, disponível para o consumidor deve ser padronizada.

2.3 GERAÇÃO PELO LADO DA DEMANDA (GLD)

Programas de gerenciamento pelo lado da demanda 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. As alterações almejadas, Figura 2, podem ser a redução da potência no horário de pico, o preenchimento de vales, mudanças na carga, conservação estratégica, crescimento estratégico e a construção de curvas de carga flexíveis.

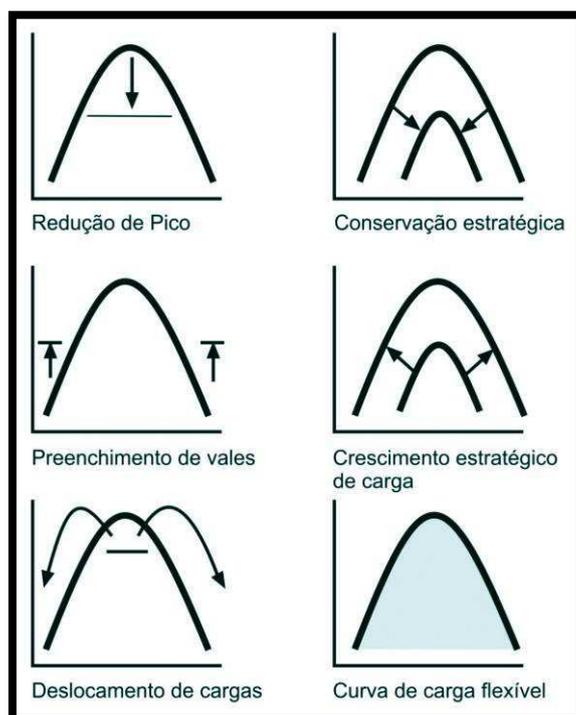


Figura 2 – Possibilidades de modelagem da carga [1].

Mais do que um campo separado de estudo, o gerenciamento pelo lado da demanda tem que ser tomado num contexto de Planejamento Integrado de Recursos. Através de análises benefício custo, alternativas de gerenciamento pelo lado da demanda podem ser comparados com opções pelo lado da oferta, derivando-se daí qual o caminho mais eficiente e de menor custo para se prover à potência e a energia desejadas [7].

2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Complementando a geração centralizada, as redes elétricas inteligentes irão promover um crescimento da chamada Geração Distribuída (GD). A GD caracteriza-se como uma geração de menor porte, oriunda de fontes alternativas ou não, localizada próxima à carga, que independe da tecnologia de geração. O grande impasse nessa definição é em relação ao tamanho dessas fontes e ao nível de tensão no qual a GD deve ser conectada à rede elétrica.

Diversas tecnologias têm sido aplicadas: microturbina a gás, geradores eólicos, células a combustível (CaC), painéis fotovoltaicos, Pequena Central Hidrelétrica (PCH), conversão térmica solar, motores *stirling*, conversores de biomassa e os sistemas de armazenamento de energia [1].

Geradores quando conectados a rede de média tensão são classificados como mini geração para faixas de potência instalada entre 100 kW a 1 MW ($100 \text{ kW} < P \leq 1 \text{ MW}$) e quando conectados a rede de baixa tensão são classificados de micro geração ($P \leq 100 \text{ kW}$) [8].

2.5 INFRAESTRUTURA DE TELECOMUNICAÇÕES

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 3.

Home Area Network (HAN) correspondente a rede de comunicação formada entre o Concentrador /Interface com o consumidor e seus dispositivos, em geral, internos a uma residência. Podem ainda existir redes de menor abrangência, as chamadas *Personal Area Network* (PAN), em geral, associadas a um indivíduo e a seus próprios dispositivos, concretizadas por tecnologias de curtíssima distância tal como o bluetooth.

A camada imediatamente acima, correspondente a rede entre medidores e instrumentos e pontos de concentração de dados, e chamada de *Neighborhood Area Network* (NAN) e sua abrangência é tal que múltiplas residências em um quarteirão, vizinhança ou bairro interligam-se a um concentrador.

A rede entre concentradores e a distribuidora é chamada *Wide Area Network* (WAN) e abrange grandes distâncias.

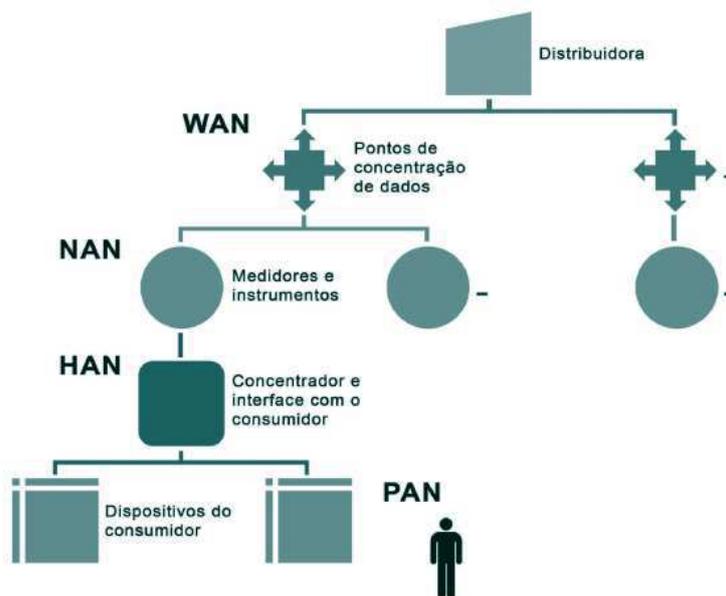


Figura 3 – Estrutura hierárquica. [1]

3 TECNOLOGIAS DE UMA REDE ELÉTRICA

INTELIGENTE

Este capítulo tem o objetivo de expor as diversas tecnologias, soluções, e equipamentos, possivelmente, presentes em uma rede elétrica inteligente.

3.1 MEDIÇÃO E AUTOMAÇÃO INTELIGENTE

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. A Figura 4 ilustra alguns tipos de medidores inteligentes.

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.



Figura 4 – Exemplos de medidores inteligentes [3].

Tomando em consideração os fatores anteriormente expostos, no tocante às redes elétricas inteligentes, geralmente investimentos em sistemas de medição inteligentes são priorizados em relação a outros, dada sua importância para a concessionária e para a sociedade. A instalação de uma sólida rede de infraestrutura avançada de medição traz como consequência direta a instalação de grande parte do sistema de comunicação necessário para a composição dos sistemas de redes elétricas inteligentes. Dessa forma, medidores inteligentes são geralmente viabilizadores técnico-econômicos naturais das redes elétricas inteligentes [1].

Dentro deste contexto de automação inteligente, têm-se os seguintes aspectos:

- *Automated Meter Reading (AMR)*, ou *Leitura Automática do Medidor*, conceito antigo com comunicação unidirecional com um Centro de Controle de Medição (CCM) para o processo de geração de fatura,

visando maior exatidão nas medições e economia de custos com leituristas [8].

- A adição da função de leitura automática soluciona vários problemas operacionais, como, por exemplo, a leitura de medidores instalados em locais de difícil acesso, com acesso restrito e em regiões distantes, em que o custo da leitura do medidor pode ultrapassar o valor da energia faturada.
- *Advanced Meter Management* (AMM), ou Gerenciamento do Medidor Avançado, refere-se a uma plataforma técnica de gerenciamento para medidores inteligentes dispostos em redes de comunicação, lendo perfis de carga em intervalos de tempo inferiores a uma hora. Pode ser entendido como toda ação de gerenciamento sobre o medidor como ativo da rede. Apresenta como funções básicas (i) gerenciamento de dispositivo (p. ex., gestão de parâmetros dos medidores), (ii) gestão de grupo, possibilitando o controle de grupos de dispositivos, como configuração e upgrade de firmware, e (iii) gestão de plataforma de comunicação, assegurando comunicação confiável entre medidores e CCM, reportando status de rede, desempenho da comunicação e situações de exceção. Importante notar que a AMM não armazena os dados coletados dos medidores (ou o faz apenas temporariamente), transmitindo-os ao MDM.
- *Meter Data Management* (MDM), ou Gerenciamento de Dados do Medidor, processa e gerencia os dados gerados pelos medidores, incluindo informações além da energia consumida, como por exemplo, fator de potência e indicadores de qualidade. Objetiva aperfeiçoar processos como faturamento, eficiência operacional, serviços ao consumidor, previsão de demanda de energia, gerenciamento do sistema de distribuição (*Distribution Management System* - DMS), gestão de fraudes, gestão de demanda, entre outros. A questão não se resume mais em como coletar dados remotamente (função da AMM), mas como gerenciá-los para obter mais informação. Tem como funções básicas (i) atuar como repositório de dados de registros, eventos e alarmes, e (ii) processar e analisar dados dos medidores, aplicando validação e

retificação em dados inconsistentes e transformando perfis de carga elementares em informação útil a concessionária.

- *Advanced Metering Infrastructure* (AMI) ou Infraestrutura de Medição Avançada, sendo que alguns autores utilizam o termo AMI como sinônimo de medição inteligente englobando os conceitos de AMM e MDM. Na prática está relacionado mais a infraestrutura de meios de comunicação necessários para permitir as funcionalidades de medição inteligente.

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 *SMART HOMES* (AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL)

As pesquisas na área de automação residencial objetivam agregar os seguintes aspectos:

- Conforto e entretenimento;
- Saúde e bem-estar;
- Sustentabilidade;
- Eletrodomésticos inteligentes (*smart appliance*);
- Sistemas de segurança inteligentes;
- Conectividade;
- Eficiência energética.

A tecnologia de redes elétricas inteligentes atua especificamente sob a perspectiva da eficiência energética, porém, interopera sinergicamente com os conceitos, produtos e serviços desenvolvidos sob as demais perspectivas. A alta relação custo-benefício e facilidade de assimilação por parte dos clientes são alguns dos benefícios obtidos e facilidades providas pelos serviços e produtos [1].

3.2.1 *IN HOME DISPLAY* (IHD)

Para que os sistemas de redes elétricas inteligentes sejam eficazes, é fundamental que os clientes interajam de forma efetiva com seu consumo de energia. Entretanto, para que isso ocorra, os clientes precisam, primeiramente, ter acesso a essas informações. Tal acesso é proporcionado geralmente através da adoção de canais de interação (ou *in home displays* (IHD), ilustrados na Figura 5), que possibilitam compartilhar *feedbacks* diretos e indiretos. Dentro de sua residência, normalmente, o cliente tem acesso a equipamentos que permitem os dois tipos de *feedback*.



Figura 5 – Exemplos de *in home displays* (IHD). [3]

Entre as vantagens destes canais de interação estão:

- A possibilidade de o cliente consultar seu consumo, em frações de segundos, de forma automática via um display inteligente 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.

A utilização simultânea de displays diretos e indiretos possibilita ainda mais economias e vantagens aos consumidores através da otimização de seu consumo e do oferecimento de novos serviços. Dessa forma, além do display inteligente, o Programa *Smart Grid Light* optou por utilizar as tecnologias de TV, telefone celular, *tablet* e computador, uma vez que tendem a funcionar de forma ainda mais eficaz como display direto ou indireto. No primeiro caso, quando o cliente está em sua residência e utiliza mídias de comunicação consagradas, como, por exemplo, o bluetooth, e os

equipamentos interconectados estão no raio de atuação suportado pela mídia de comunicação em questão. No segundo caso, quando a conexão de tais equipamentos aos dispositivos *smart grid* se dá por meio de mídias remotas e conexões seguras, como, por exemplo, através das VPNs (*Virtual Private Networks*), de conexão a Internet ou rede de comunicação privada (TV a cabo).

3.2.2 SMART APPLIANCES (ELETRODOMÉSTICOS INTELIGENTES)

Além de permitir que o consumidor monitore e controle remotamente as tarefas dos eletrodomésticos, alguns *smart appliances* apresentam a capacidade de receber, interpretar e agir a partir de um sinal recebido de uma concessionária de energia elétrica, da empresa fornecedora de energia ou de um dispositivo de gestão residencial de energia, com a possibilidade de ajustar a operação de acordo com o conteúdo do sinal e as preferências do consumidor. Os *smart appliances* possuem as seguintes características:

- Apresentam informações sobre preços de tarifas dinâmicas, possibilitando que o usuário gerencie seu consumo de energia conforme diferentes necessidades;
- Respondem a sinais da concessionária de energia, contribuindo em programas de gestão pelo lado da demanda (DSM) através de:
 - Fornecimento de alertas que indiquem o deslocamento de carga para horários fora de ponta (*load shifting*);
 - Corte automatizado de carga ou redução de pico (*load shedding ou peak clipping*) com base nas configurações predefinidas pelo consumidor.
- Respondem a situações de emergência da rede de energia elétrica, garantindo a integridade das operações, mediante o ajuste automático.
- Podem otimizar os recursos para acomodar a geração distribuída na rede, através da utilização dos dispositivos em horários mais propícios, como, por exemplo, no momento de um vento forte, no caso de uma rede baseada em energia eólica, ou uma alta incidência solar, considerando painéis fotovoltaicos.

3.2.3 TOMADAS INTELIGENTES

Desenvolvidas com circuitos integrados de medição de energia, as tomadas inteligentes atuam de forma a contabilizar individualmente o consumo instantâneo de cada tomada e fornecer ao consumidor os respectivos dados, de forma instantânea e de fácil interpretação. Um exemplo de tomada inteligente pode ser visualizado na Figura 6.

Assim, além da visualização, a implantação de uma rede doméstica possibilita o controle completo de todas as cargas disponíveis dentro da residência, agregando outras funções, como, por exemplo, programação de horário de funcionamento, limitação de cargas, programação de funcionamento em horários fora de ponta, quando as tarifas são mais baixas, ou controle remoto automático das cargas conectadas as tomadas inteligentes. Nota-se que a ação das tomadas inteligentes está em total compatibilidade com as ações de gestão pelo lado da demanda. Essas tomadas podem ser utilizadas para corte de cargas não utilizadas, como por exemplo, de equipamentos em modo *stand-by* ou para agendamentos de acordo com a tarifa, os horários, a temperatura ou o nível de carga geral da residência, proporcionando um deslocamento de carga.

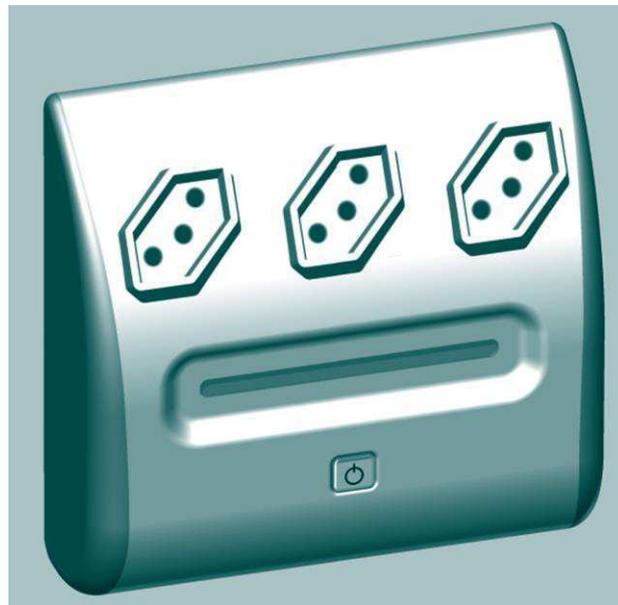


Figura 6 - Tomada inteligente desenvolvida no Programa *Smart Grid Light* [1].

3.2.4 *MULTI-UTILITIES*

O conceito de *multi-utilities* consiste na possibilidade de integrar os diversos insumos das unidades consumidoras – energia elétrica, calor (grandes unidades consumidoras, geralmente), água e gás.

Uma vez que sistemas de medição inteligente de energia elétrica tradicionalmente tendem a ser implementados antes de sistemas similares para os segmentos de água, gás e calor, de forma massificada, é natural a ideia de se obter uma integração entre esses segmentos quando o assunto é os sistemas *smart grid*.

Além disso, pelo lado do cliente, é muito mais prático usufruir de todas as informações relacionadas a seus insumos através de um canal centralizado de interação. Dessa forma, ele pode planejar melhor seu orçamento e utilizar ferramentas, desenvolvidas inicialmente apenas para controlar um insumo, para controlar todos os insumos de sua residência [1].

3.2.5 ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL

Além da entrada de cargas de eletrodomésticos, a iluminação é uma das cargas de maior impacto no consumo residencial. As cargas de iluminação são ainda mais relevantes quando se considera o fato de que normalmente são acionadas em maior quantidade nos horários de ponta, o que faz com que se tornem cargas potencialmente caras quando da adoção de tarifas horo sazonais.

Atualmente, estão disponíveis soluções de interruptores e lâmpadas com controle sem fio, como, por exemplo, por rádio *ZigBee*. Mesmo quando os sistemas não abrangerem a medição de cada lâmpada individualmente, se ele estiver conectado a rede doméstica, será possível executar comandos e agendá-los a distância, assim como ocorre com os eletrodomésticos e as tomadas inteligentes.

Dessa maneira, através de um sistema de automação residencial que controle a rede HAN, é possível cadastrar interruptores, lâmpadas e controles remotos, como dispositivos componentes da rede e criar ligações entre eles. Dessa forma, é possível cadastrar o acionamento de mais de uma lâmpada a partir de um interruptor e modificar os controles dos ambientes sem a necessidade de alterar as instalações elétricas residenciais. Uma vez configurado o sistema de iluminação residencial dentro da rede HAN, é possível utilizar um controlador doméstico para enviar comandos a cada

lâmpada individualmente. Desse modo, são criados cadastros de lâmpadas que estão habilitadas para acionamento no horário fora de ponta, por exemplo. Também é possível, com esse sistema, programar horários de entrada e saída de lâmpadas, em caso de ausência do morador, simulando a existência de uma pessoa dentro da residência.

3.3 *SMART CITIES*

3.3.1 ILUMINAÇÃO PÚBLICA INTELIGENTE

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.

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, por exemplo. A redução de consumo associada a tal ação beneficiaria a sociedade como um todo e, também, o meio ambiente.

3.3.2 O VEÍCULO ELÉTRICO

Os veículos elétricos (VE) e veículos elétricos híbridos recarregáveis (VEHR – veículo abastecido por combustível fóssil e pela rede elétrica) podem ser uma alternativa para o uso de petróleo. Podem também melhorar o desempenho econômico e técnico da concessionária de energia, além de trazer benefícios financeiros para os proprietários dos veículos híbridos recarregáveis. Tais veículos, porém, do ponto de vista do sistema elétrico, representam um novo tipo de carga, com alto consumo e potencia quando comparados aos eletrodomésticos convencionais de consumidores residenciais. Esse fator apresenta um impacto bastante significativo tanto nas instalações elétricas dos pontos de recarga, incluindo-se condomínios, garagens prediais e residenciais, quanto nas redes de distribuição que devem suprir essa demanda. A Figura 6 ilustra o veículo elétrico utilizado no programa *Smart Grid Light*.

Para diminuir o tempo de recarga das baterias de um veículo elétrico, é necessário transferir um alto montante de energia elétrica (entre 40 kW e 50 kW) da rede de distribuição em um menor espaço de tempo (bornes de recarga rápida). Essa funcionalidade, denominada recarga rápida, já implantada em alguns modelos de veículos elétricos, requer investimentos na infraestrutura da rede de distribuição, bem como a aplicação de padrões de segurança compatíveis e a utilização de redes elétricas inteligentes. O modo de utilização regular de veículos pelos clientes favorece a utilização de sistemas de recarga lenta, na maioria dos casos, sem afetar o cotidiano dos clientes. Por exemplo, diversos veículos elétricos possuem autonomia superior a 150 quilômetros e veículos híbridos recarregáveis possuem autonomia superior a quarenta quilômetros. Dessa forma, tomando por base que o deslocamento médio usual dos clientes em diversos países é inferior a tal autonomia, e que o cliente poderia recarregar seu veículo ao chegar à sua residência e ao destino via bornes de recarga lenta (trabalho, shopping, etc.), tais veículos poderiam ser recarregados gerando baixo impacto ao consumo de ponta do sistema elétrico de distribuição e a vida dos indivíduos.

Os consumidores devem poder recarregar seus veículos em locais de trabalho ou de compras, fornecendo-lhes uma autonomia adicional. Outro fator fundamental é o horário em que os consumidores realizarão a recarga de seus veículos. O horário noturno é o mais adequado para a recarga (sob o ponto de vista das concessionárias), pois a demanda é mais baixa, sendo possível utilizar a energia elétrica produzida pelos produtores de baixo custo. Entretanto, a preferência dos consumidores

(desconsiderando-se quaisquer incentivos para modificar essa preferência) é determinada pelo fácil acesso a uma tomada, conforme sua conveniência. Existem várias opções para as concessionárias influenciarem as escolhas dos consumidores, como, por exemplo, oferecer tarifas mais baratas que favoreçam o carregamento noturno ou medidas regulatórias para o carregamento dos veículos.

Assim, bornes de recarga lenta inteligentes devem permitir que, mesmo quando os veículos estejam conectados fisicamente aos bornes, a conexão elétrica só aconteça efetivamente quando a tarifa for mais barata, trazendo benefícios para o meio ambiente, para o orçamento do cliente e para o sistema elétrico.

Tal integração também é importante para permitir a reutilização da carga da bateria dos veículos para fins de alimentação de cargas específicas (*Vehicle to Appliance – V2A*) ou de exportação de energia elétrica para a rede de distribuição (*Vehicle to Grid – V2G*). Dessa forma, o veículo pode se comportar ora como carga ora como fonte de energia e o fluxo de energia entre o veículo e a rede pode ser bidirecional.

A gestão pelo lado da demanda (GLD) e a conexão dos veículos à rede (V2G) podem ajudar a aliviar o sistema de energia elétrica, uma vez que oferecem grande flexibilidade à gestão de energia. Dessa forma, a energia estocada nas baterias dos veículos, em momentos de ociosidade deste, pode ser utilizada para reduzir o consumo dos clientes em momentos quando o preço da energia é mais caro, beneficiando seu bolso e o meio ambiente, ou ser exportada para a rede elétrica, gerando um negócio para o cliente, caso suportado por contratações específicas com a concessionária e regulação local.

Os novos serviços associados a veículos elétricos são inúmeros. Por exemplo, a concessionária pode fazer uso de um sistema que permita aos consumidores conectar seus veículos em qualquer borne de recarga lenta, com a possibilidade de incluir os custos de energia as respectivas faturas de energia associadas ao medidor inteligente que alimenta sua residência, ou ainda vender a energia elétrica em horários de ponta através da conexão V2G.

Dessa forma, as redes elétricas inteligentes são essenciais para viabilizar a massificação de bornes de recarga inteligentes de veículos, pois estes podem compartilhar da infraestrutura de TI, telecom e de canais de interação de sistemas *smart grid* e massificar os benefícios da implementação de VEs e VEHRs. A estratégia de implementação massificada de bornes de recarga lenta associada a integração de tais

bornes às redes elétricas inteligentes é outro fator fundamental para o sucesso de tais veículos no mercado internacional.



Figura 7 - Ilustração do veículo elétrico I-MiEV da Mitsubishi integrado aos produtos e serviços do Programa *Smart Grid Light* [1].

4 SMART GRIDS HOJE

O planeta vive uma nova onda de eficiência em energética e o conceito de redes inteligentes está sendo disseminado cada vez mais. Apesar de o Brasil estar ainda engatinhando neste novo conceito, vários países têm pesquisado e experimentado os benefícios desta tecnologia.

4.1 CENÁRIO MUNDIAL

Hoje, diferentes iniciativas a cerca das redes elétricas inteligentes e seus componentes vêm sendo adotadas ao redor do mundo. A Figura 8 ilustra as diversas pesquisas e projetos em redes elétricas inteligentes.

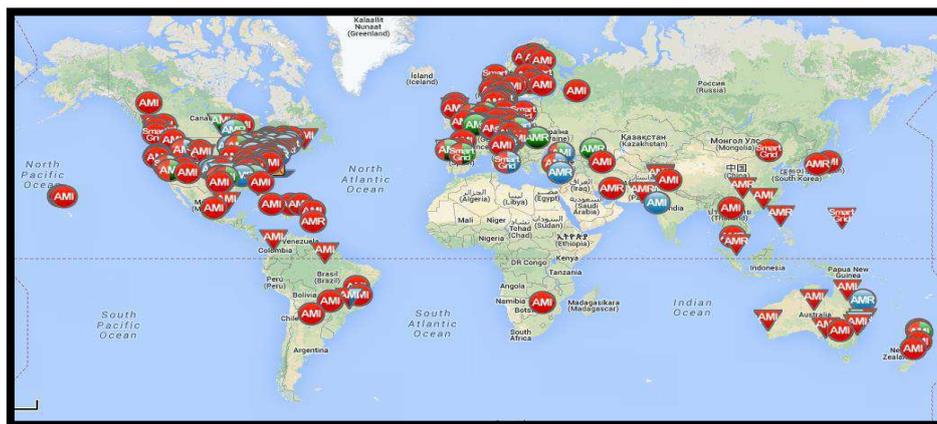


Figura 8 – Iniciativas de medição inteligente ao redor do mundo [9].

Considerando a situação internacional frente ao novo conceito das redes elétricas inteligentes, observa-se que a Europa demonstra forte tendência e comprometimento com a área de microgeração distribuída, focada na utilização de energia limpa e o crescimento da eficiência energética na região. A visão dos EUA, por sua vez, mostra o foco na recuperação das redes de distribuição que estão envelhecidas e desgastadas. E o foco da Ásia e Pacífico está no mercado, seja em atender a demanda crescente de energia ou ao mercado tecnológico que se abre com esta tendência mundial, apresentando uma diversificada cadeia produtiva. Sua visão é que a *smart grid* é uma ferramenta que possibilita uma otimização maior para o atendimento ao crescimento da

demanda, com potenciais desenvolvimentos de novas tecnologias e inovações que terão aplicação nos principais mercados de energia. [8]

4.1.1 EUROPA

No âmbito da União Europeia, a introdução de novas tecnologias no setor elétrico está prevista pela legislação supranacional desde 2005. O Parlamento Europeu já emitiu diferentes diretivas (atos legais emitidos pelo Parlamento Europeu com abrangência sobre os Estados-Membros da União Europeia) que mencionam as novas tecnologias [3].

Alemanha, Espanha, França, Itália e Reino Unido são os países em destaque nos investimentos em projetos demonstrativos e implantações de redes elétricas inteligentes na União Europeia. Os governos, as concessionárias de serviços e os fornecedores de tecnologia em toda a Europa estão envolvidos no desenvolvimento das *smart grids* na região.

Na Itália, mais de 33 milhões de medidores inteligentes e 358 mil concentradores foram instalados pela distribuidora Enel. Por meio do denominado sistema *Telegestore* [10], que utiliza comunicação bidirecional e diferentes tipos de tecnologia de telecomunicações para ações de leitura, parametrização e automação, o medidor é capaz de realizar remotamente: leitura cíclica, captura de informações de conectividade e detecção de fraude. O sistema ainda está apto a realizar remotamente corte e religação, operar mudanças e redução gradual de demanda, oferecer tarifas diferentes e permitir atualização de software. Além do sistema avançado de medição, telecomunicações e de automação instalado em grande escala, já há na Itália outras tecnologias de redes inteligentes implantadas em cidades como Genova, Bari, Pisa e Turim, onde se encontram experiências com geração e armazenamento distribuídos [3].

No Reino Unido, existe política pública já estabelecida com a determinação da implantação de sistemas avançados de medição, aliados a tecnologias de telecomunicações e infraestrutura computacional. Além de aperfeiçoamento do mercado livre, os objetivos do governo são reduzir a emissão de gás carbônico, incentivar fontes renováveis, implantar tarifas diversificadas e aumentar a eficiência energética. Essa política concentra-se na substituição obrigatória de mais de 50 milhões de medidores residenciais de gás e energia elétrica. A instalação deve ser feita pelos agentes

comercializadores, sob supervisão das distribuidoras. Todo o processo de leitura e coleta de informações será feito centralizado por uma agente de medição independente.

4.1.2 ESTADOS UNIDOS

A implementação da tecnologia *smart grid* no mercado americano foi grandemente impulsionada a partir de 2009, uma vez que o governo federal americano concedeu US\$ 3,4 bilhões para projetos de *smart grid* dentro do pacote de recuperação da economia. Boa parte desses investimentos, entretanto, foi direcionada para soluções de geração distribuída e armazenamento local, uma vez que a geração americana baseia-se em grande parte em matrizes não renováveis, como, por exemplo, termoelétricas e nucleares [1].

Como, nos Estados Unidos, as distribuidoras de energia estão sujeitas às agências reguladoras estaduais, diferentemente do Brasil, cada uma delas fica livre para escolher a tecnologia e as soluções utilizadas. Esta falta de padronização faz com que as aplicações de *smart grids* variem bastante em termos de soluções, logo, uma iniciativa de destaque nesse mercado é a sugestão de padronização, criada pelo EPRI (*Electric Power Research Institute*), chamada de *IntelliGrid*.

Alguns estados norte-americanos se destacam na implantação de redes inteligentes.

No Texas, há mercado livre para todos consumidores, incluindo residenciais. A configuração adotada no estado possui ação direta dos comercializadores, e os consumidores têm acesso aos dados de consumo em um portal, o que exige infraestrutura de telecomunicações e de TI. Os medidores possuem funcionalidades avançadas e houve implantação de sistema de comunicação *Zigbee* para a HAN, com utilização de equipamentos inteligentes, como termostatos, controle de iluminação e eletrodomésticos. No Texas, existem ainda projetos de automação de geração distribuída fotovoltaica.

No estado da Califórnia, a modernização do sistema de distribuição foi motivada pela necessidade de implantação de infraestrutura que possibilitasse programas de gerenciamento pelo lado da demanda com sinal de preço real durante os períodos de ponta. Além de reduzir a demanda de ponta e otimizar a infraestrutura de ativos de distribuição, o resultado buscado relaciona-se com o aumento da confiabilidade do sistema. Assim, uma infraestrutura de medição avançada já está implantada.

Na Califórnia, já existem tecnologias com vários planos de tarifação/faturamento, portais e mecanismos de interface com o consumidor, veículos elétricos e geração e armazenamento distribuídos [3].

4.1.3 OUTROS PAÍSES

Outros países vêm se destacando com tecnologia e iniciativas em redes elétrica inteligentes. A Tabela 1 fornece dados dos principais investimentos nesta área.

Austrália - o governo australiano, em parceria com o setor privado de energia, tem desenvolvido o projeto piloto demonstrativo “*Smart Grid, Smart City*” . Esta iniciativa visa reunir informações robustas sobre os custos e os benefícios das redes inteligentes, auxiliando nas tomadas de decisões futuras pelo governo, pelos provedores e consumidores de energia, e pelos fornecedores de tecnologia nacionais.

China - o governo chinês tem desenvolvido um plano de estímulo de longo prazo para investir em sistemas de água, infraestruturas rurais e redes de energia, incluindo um investimento substancial em redes inteligentes. Os principais objetivos são reduzir o consumo de energia, aumentar a eficiência da rede elétrica e gerenciar a geração de eletricidade a partir de tecnologias renováveis.

Coréia do Sul - em parceria com a indústria, o governo sul-coreano tem investido em ações para redes inteligentes por meio do projeto “*Korea’s Jeju Smart Grid Test-bed*” em implantação na ilha Jeju. O projeto consiste na integração de uma *smart grid* com seis mil residências, parques eólicos e quatro linhas de distribuição.

Índia - as ações de implementação de redes elétrica inteligentes na Índia estão ligadas aos setores de geração, transmissão, distribuição e qualidade de energia. Objetiva-se aumentar os níveis de eficiência energética e da quota de energias renováveis na rede nacional. Decisões estabelecidas pelos programas “*Electricity Act of 2003*” , “*National Electricity Policy of 2005*” e “*Re-Structured Accelerated Power Development and Reforms Program*” (R-APDRP) incorporaram diretivas importantes para o desenvolvimento do setor elétrico nacional. Órgãos ligados ao *Ministry of Power (MoP)* e as iniciativas *India Smart Grid Task Force & Forum (ISGTF)* coordenam as ações e os investimentos em *smart grids* no país.

Japão - os japoneses estão desenvolvendo as tecnologias de redes elétrica inteligentes, incorporando a geração de energias renováveis, a medição inteligente e

serviços, bem como os veículos elétricos. Em *Rokkasho Village, Aomori Prefecture*, está sendo desenvolvido um projeto demonstrativo de *smart grid* utilizando-se apenas energia gerada por fontes renováveis.

Tabela 1 – Principais investimentos no mundo em 2010, e estimativas futuras[8].

País	Investimentos federais (em 2010)	Estimativas de investimentos federais e privados (próximos anos)
Austrália	US\$ 360 milhões	US\$ 240 bilhões (até 2030)
China	US\$ 7,3 bilhões	US\$ 100 bilhões (2011 - 2016)
Coréia do Sul	US\$ 824 milhões	US\$ 24 a 30 bilhões (até 2030)
EUA	US\$ 7,09 bilhões	US\$ 1,5 trilhões (até 2030)
Índia	não disponível	US\$ 26,2 bilhões (2010 - 2015)
Japão	US\$ 849 milhões	US\$ 1,7 trilhões (até 2030)
União Europeia	US\$ 1, 76 bilhões	US\$ 1,88 trilhões (até 2030)

4.2 CENÁRIO NACIONAL

Já existem em tramitação no Congresso Nacional alguns projetos de lei relacionados a redes inteligentes e também resoluções da Aneel que contemplam temas como PLC, georreferenciamento, tarifa diferenciada, geração distribuída de pequeno porte e medição eletrônica. Embora o MME (Ministério de Minas e Energia) não tenha ainda apresentado propostas concretas sobre redes inteligentes, existem outras iniciativas no executivo, como as ações da ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) para subsidiar novas políticas industriais brasileiras e o Plano Inova Energia, que incentiva a inovação. [3]

Apesar de existir esse cenário com algumas iniciativas, não há no Brasil implantação em grande escala de tecnologias de redes inteligentes. Além de projetos pilotos, algumas poucas iniciativas podem ser destacadas.

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(ou) 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.

Ademais, os projetos da Light criaram interfaces diferenciadas e inovadoras para os consumidores. Além dos próprios medidores e dos displays e tomadas inteligentes, 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*). A Figura 9 ilustra no mapa brasileiro os principais projetos piloto em execução.

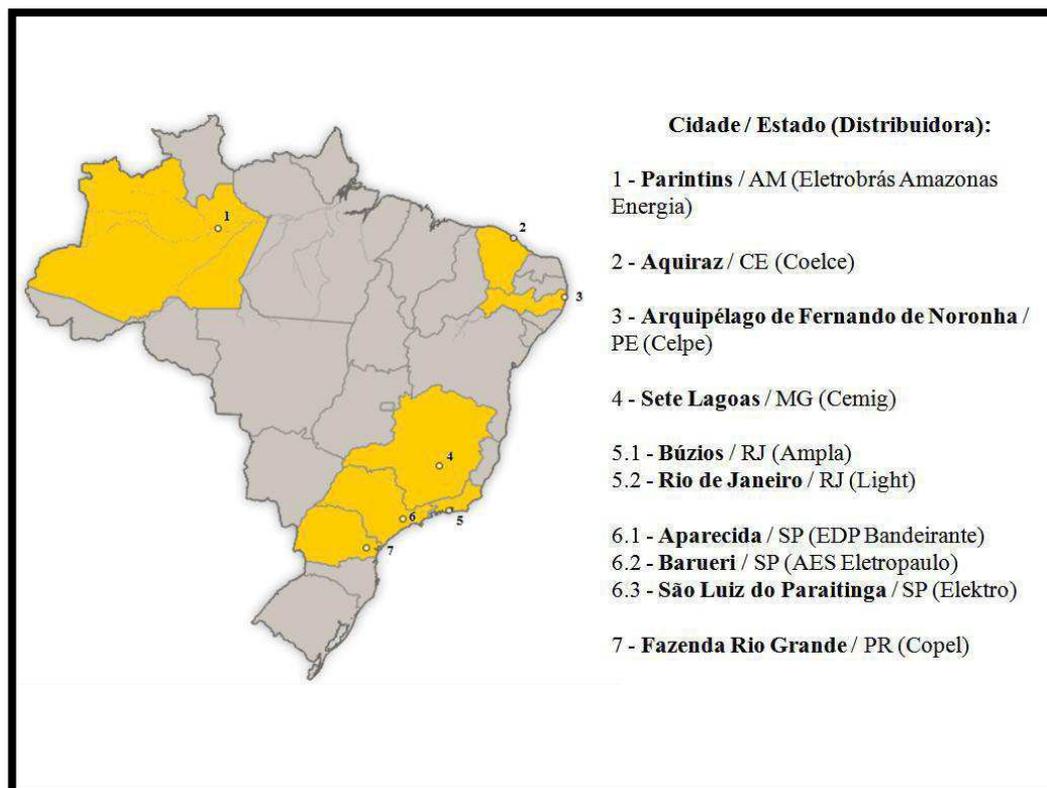


Figura 9 – Principais projetos pilotos (*smart cities*) brasileiros [3].

5 EXEMPLOS DE PROGRAMAS *SMART CITIES*

Neste capítulo serão abordados dois programas de cidades inteligentes. O primeiro referente ao projeto *InovCity* em Évora, Portugal. O segundo está em fase de execução no Rio de Janeiro, o programa *Smart Grid* da Light.

5.1 PROJETO *INOV*CITY – ÉVORA, PORTUGAL

O *InovCity*, Figura 10, é um dos projetos *smart grid* em fase de implementação em Évora, Portugal e foi selecionado pela Comissão Europeia e *Eurelectric* como o principal estudo de caso entre cerca de 260 projetos europeus de redes inteligentes de energia.



Figura 10 – Projeto *InovCity* – Évora. [11]

O projeto foi iniciado em 2007 pela EDP Distribuição tendo então sido escolhida a cidade de Évora por diversos fatores, principalmente pela possibilidade de integração de um tecido urbanístico que permitisse com maior facilidade a microgeração de energia, dadas as características mistas dos edifícios.

A partir de Abril de 2010 o projeto entrou na fase de concretização com a abrangência de 31.000 clientes num total de 54.000 consumidores, dotando a rede de equipamentos inovadores capazes de automatizar a gestão da energia pelos vários agentes envolvidos, consumidores, produtores, distribuidores.

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.

Naturalmente o projeto é um dos primeiros passos para a implementação das redes inteligentes no espaço europeu, procurando cumprir o objetivo europeu de dotar dessa capacidade bidirecional em cerca de 80% das redes europeias até 2020.

5.1.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

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

- Dar aos consumidores a habilidade de gerenciar seu consumo de energia;
- Encorajar a microgeração, no sentido de incentivar a população a produzir e vender energia gerada em casa através de painéis solares, por exemplo;
- Introduzir a mobilidade elétrica;
- E substituir a iluminação pública tradicional por iluminação LED em algumas áreas centrais e instalar reguladores de luz e sensores de presença.

5.1.1.1 *ENERGY BOX*

As *Energy box* (EDP box) vêm para substituir os antigos medidores e são instaladas em cada cliente, representando um gestor de energia elétrica que permitirá maior confiabilidade e menor custo no aproveitamento de energia e gestão dos fluxos de energia em tempo real. Esses fluxos podem ser unidirecionais, ou bidirecionais, na eventualidade do consumidor ser também um produtor, por exemplo, se a residência for dotada com painéis fotovoltaicos e/ou turbinas eólicas. A Figura 11 ilustra o medidor (*Energy box*) e o *in home display* (IHD) utilizados no projeto.

Possui inúmeras vantagens, uma vez que irá permitir o acesso à informação detalhada sobre o consumo, possibilitando ao consumidor conhecer as horas do dia em que mais consome e aquelas em que pode usar eletricidade a um preço mais favorável. Esta informação vai permitir que a fatura de energia elétrica tenha por base o consumo em tempo real, recolhidos de forma automática e com periodicidade mensal.



Figura 11 – *Energy box* (EDP box) e *in home display* (IHD) [12].

Para seu conforto, o consumidor poderá realizar alterações contratuais de potência, ciclo, ou tarifas, sem a necessidade de deslocamento de pessoal especializado. O cliente poderá, ainda, consultar a análise do seu padrão de consumo ou fazer simulações de ciclos horários, sendo até possível a programação de avisos automáticos em função de parâmetros definidos por ele mesmo.

5.1.1.2 *DISTRIBUTION TRANSFORMER CONTROLER (DTC)*

Os DTC (Figura 12) são os equipamentos instalados nos Postos de Transformação (PT), locais onde a média tensão é convertida para baixa tensão. O DTC colocado no PT é a interface de comunicação entre as *Energy Box* e os sistemas centrais:

- Efetua a medição da energia que sai do PT;
- Realiza o controle da iluminação pública;
- Monitora os desequilíbrios de potência e sobrecargas dos transformadores de distribuição;
- Efetua a medição da qualidade de serviço;
- Detecta anomalias na rede e gera eventos e alarmes;
- Permite a configuração remota;

O DTC é, portanto, a interface entre o cliente e sistema de controle da rede.



Figura 12 – *Smart Controller/Meter Concentrator* – EFACEC [12].

5.1.1.3 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

As novas luminárias públicas, baseadas na tecnologia LED (*Light Emitting Diode*), encontram-se atualmente em teste, no projeto *NEUROCITY* que conta com a parceria entre a EDP – Direção de Tecnologia e Inovação e o Instituto de Sistemas e Robótica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

O objetivo é testar e integrar as soluções no projeto *InovCity* em Évora e, mais tarde, alargar à totalidade das redes elétricas, adaptando assim as infraestruturas à nova tecnologia ilustrada na Figura 13.

De imediato a nova tecnologia permite reduzir os consumos em mais de 50%, melhorando a qualidade de iluminação. O objetivo é reduzir em 75% os consumos de iluminação pública o que representa uma economia anual de cerca de 100 milhões de Euros por ano. O consumo da energia em sistemas de iluminação ao nível mundial é estimado em 20 %, correspondendo em Portugal a cerca de 1.545 GWh em 2009. A nova tecnologia vai, no entanto, mais longe do que a substituição passiva das lâmpadas tradicionais por dispositivos LED.

As novas luminárias são dotadas de sensores de movimento e luminosidade que permitem a diminuição da intensidade da luminosa quando não existir movimento de pessoas ou veículos, aumentando a intensidade assim que for detectado movimento, assim como comunicar avarias aos centros de manutenção, para efeitos de intervenção.



Figura 13 – Iluminação pública com o uso da tecnologia LED [12].

Quatro passos para tornar a iluminação pública mais eficiente no *InovCity*:

- Substituição das luminárias tradicionais por de tecnologia LED, representando só por si uma redução de cerca de 50% no consumo de eletricidade.
- Regulação automática da iluminação em função das condições atmosféricas, período do dia e necessidades (aumento progressivo ao entardecer e diminuição na madrugada).
- Redução da intensidade nas horas mortas, 2:00 às 5:00 h da madrugada, ativando quando detectar movimento.
- Adoção de sistemas de controle dinâmico para controlar o fluxo luminoso em função da presença de veículos ou pessoas e condições ambientais (sol, nevoeiro, chuva etc.).

Também os semáforos serão progressivamente integrados com esta tecnologia permitindo economia em cerca de 80% comparativamente às lâmpadas incandescentes, mas também promovendo a segurança nas ruas, pois o alcance do feixe luminoso é superior, além do período de vida das lâmpadas LED ser superior, cerca de 100.000 horas, ou seja, 11 anos de utilização contínua, e o fato de que se um LED queimar, não implica a inutilização do semáforo.

5.1.1.4 MICROPRODUÇÃO

O surgimento do conceito consumidor / produtor é um dos aspectos mais importantes nas redes elétricas inteligentes.

A microgeração através de diversos meios como os painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas de pequena dimensão permitirá a diminuição, eliminação, ou mesmo a obtenção de ganhos por parte do consumidor.

A produção autónoma permitirá, em caso de anomalia na rede de distribuição, que diversos setores sejam autossuficientes através do fornecimento de energia de micro produtores aos vizinhos ou mesmo a um ou vários bairros.

Ao nível dos sistemas de informação o consumidor / produtor terá acesso à informação do que consome e do que produz. Este tipo de sinergia permitirá a criação de uma rede integrada de baixo custo que dará prioridade ao consumo desta energia produzida em detrimento das fontes que carecem importação, caso dos combustíveis fósseis, aumentando a eficiência energética, reduzindo o impacto ambiental e a dependência externa portuguesa dessas fontes.

5.1.1.5 MOBILIDADE ELÉTRICA

O veículo elétrico é uma das vertentes do *InovCity*, incidindo a sua vertente na criação de postos de abastecimentos lentos, medida que tende a promover a utilização destes tipos de veículos.

O objetivo é a diminuição significativa da dependência dos combustíveis fósseis e respectiva fatura derivada da importação, assim como a diminuição das emissões dos gases de efeito de estufa e poluição ambiental.

A rede de postos (Figura 14) será integrada no *InovCity*, permitindo a gestão das cargas por parte do sistema central, possibilitando que a carga seja efetuada em períodos de tarifa mais barata, sendo restituída, se não totalmente utilizada, à rede, em períodos de tarifas mais caras, traduzindo-se numa economia para o consumidor e um incentivo à utilização deste meio de transporte.



Figura 14 – Posto de abastecimento de carga lenta [12].

5.1.1.6 ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS CLIENTES DOMÉSTICOS

O estudo foi efetuado pela *Qmetrics* (empresa portuguesa que presta serviços de consultoria, gestão e avaliação da qualidade e da satisfação desde 2002) com o apoio dos Professores Luís Catela Nunes, Manuel Vilares e Pedro Coelho da Universidade Nova de Lisboa.

O objetivo do estudo foi determinar o potencial de economia de energia elétrica que decorreu da mudança para *Smart Grids*, através da análise da evolução dos consumos elétricos, dos comportamentos associados aos consumos e avaliação de novos serviços.

O estudo decorreu entre Março de 2011 e Fevereiro de 2012, sendo constituídos três grupos de população alvo: grupo da cidade de Montemor-o-Novo (GCMTN), grupo de controle Évora (GCE) e grupo de teste Évora (GTE) com diferenciação ao nível dos serviços associados, como podem ser visualizados na Figura 15:

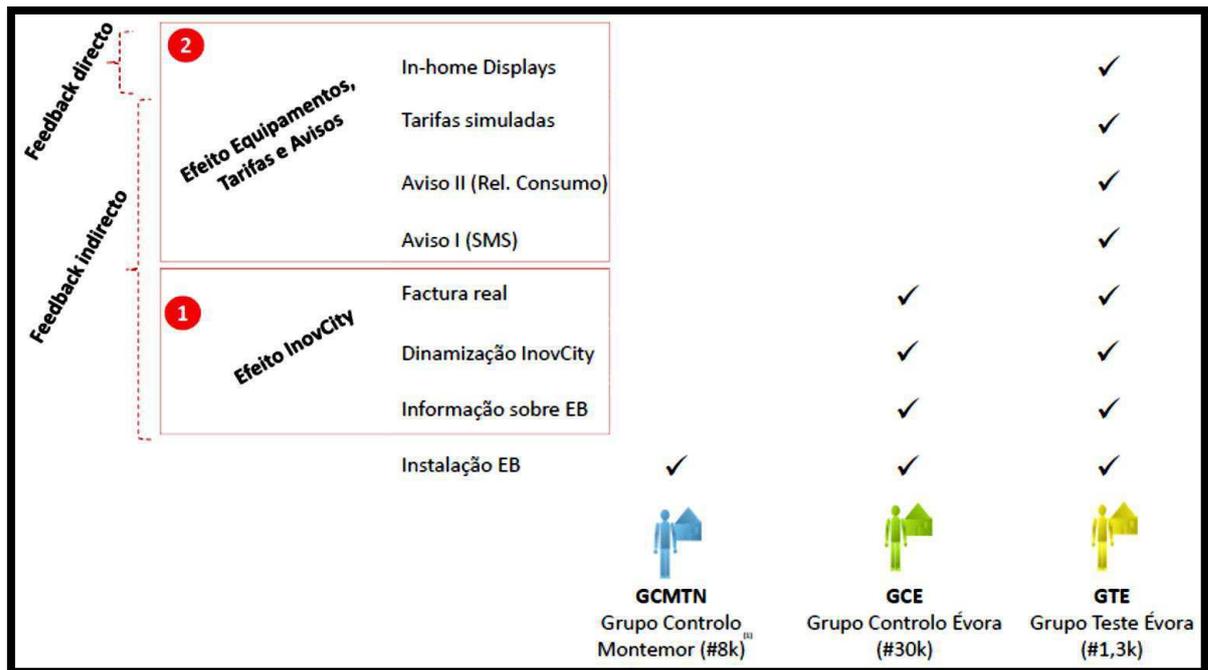


Figura 15 – Grupos de testes e níveis de serviços [12].

As bases amostrais demonstram que o consumo médio diário do grupo GCE foi mais elevado no Inverno e mais reduzido no verão, quando comparado com o grupo GCMTN. A Figura 16 ilustra os resultados.

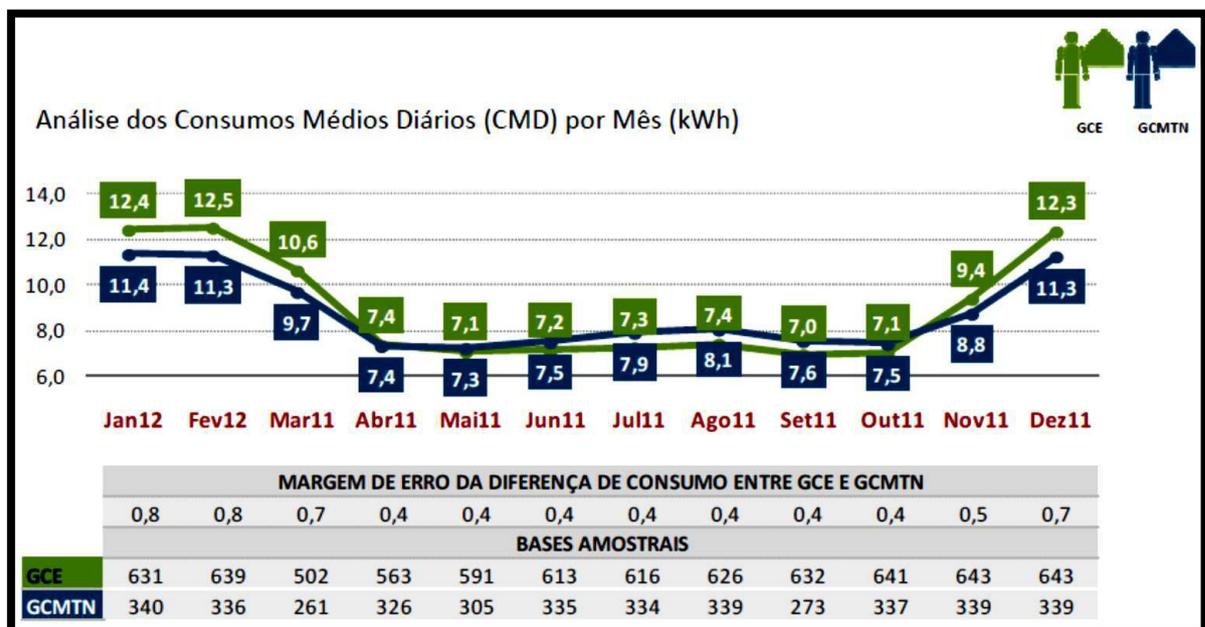


Figura 16 – Análise dos consumos médios diários [12].

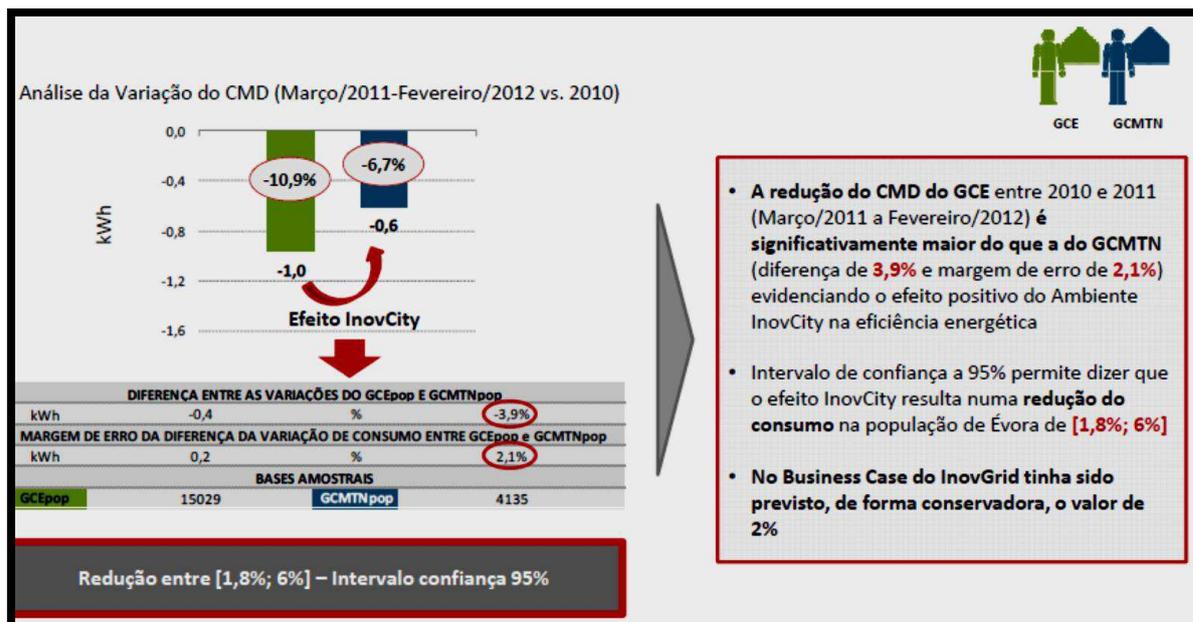


Figura 17 – Análise da variação do CMD [12].

Os resultados anuais do estudo, Figura 17, permitem afirmar que o efeito *InovCity* implicou um acréscimo de economia em Évora de 3,9% face a Montemor-o-Novo. O resultado do estudo obtido em Évora encontra-se alinhado com as referências internacionais que foram sendo recolhidas ao longo dos últimos anos, como pode-se observar na Figura 18.

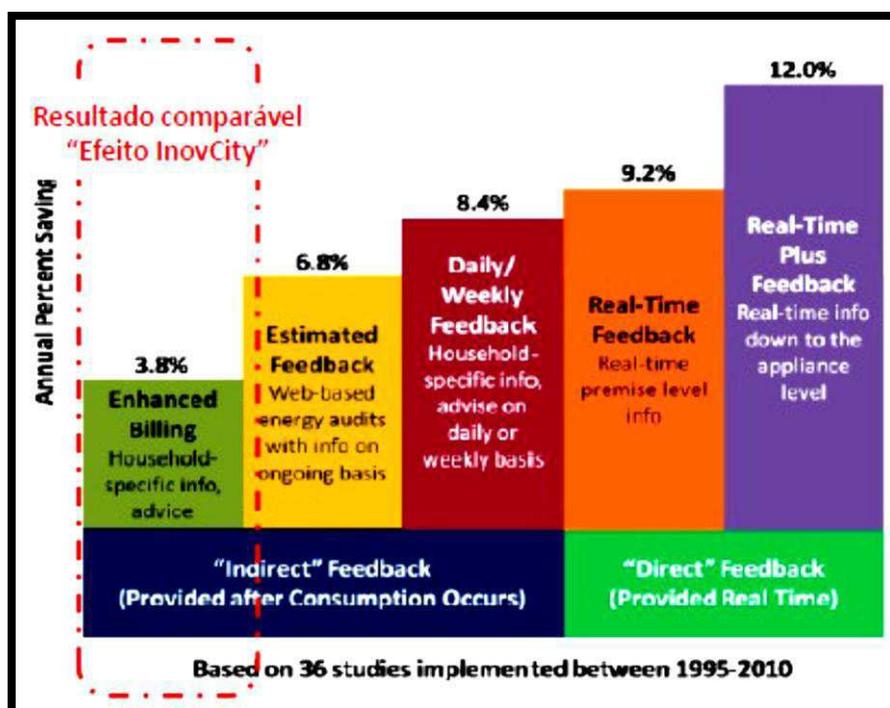


Figura 18 – Economias médias alcançadas por tipo de *feedback* dado aos clientes [12].

5.2 PROJETO *SMART GRID LIGHT* – RIO DE JANEIRO

O Programa *Smart Grid* da Light visa o desenvolvimento de uma plataforma de redes elétricas inteligentes a ser utilizada em suas áreas de concessão, considerando uma potencial expansão de âmbito nacional. Ele visa, ainda, contribuir para que os benefícios das redes elétricas inteligentes sejam disponibilizados de maneira generalizada, rápida e por múltiplos fornecedores, por meio de projetos que permitam a padronização de produtos, o desenvolvimento de mídias de comunicação, protocolos de dados e interoperabilidade entre dispositivos e sistemas. Além disso, o programa inclui a possibilidade de testar aplicações que sejam compatíveis com a realidade local. Alguns exemplos são: sistemas de medição inteligente, automação de rede aérea de alta densidade de carga, inserção de geração distribuída e operação em modo ilhado, automação de rede subterrânea, soluções de eficiência energética, canais de interação com os clientes, automação residencial e gestão de carga.



Figura 19 – Programa *Smart Grid Light* [13].

5.2.1 PLANEJAMENTO

De forma a permitir um estudo dedicado e especializado nas diversas áreas científicas envolvidas no escopo do programa, este foi subdividido em cinco projetos (Figura 20), hierarquicamente organizados, interdependentes, interoperáveis, modulares e evolutivos:

- L1: Desenvolvimento de uma plataforma de redes elétricas inteligentes, integrando sistemas de medição de energia e automação de redes de

distribuição, utilizando certificação digital e criando interoperabilidade para suportar o Programa *Smart Grid*.

- L2: Desenvolvimento de sistema de gestão, em tempo real, de redes de distribuição subterrâneas, através de monitoramento, diagnósticos e reconfiguração, integrado a plataforma e aos conceitos do Programa *Smart Grid*.
- L3: Desenvolvimento de sistema de gestão de redes de distribuição aéreas, considerando gestão de faltas e restabelecimento, inserção de geração distribuída e operação em modo ilhado, integrado à plataforma e aos conceitos do Programa *Smart Grid*.
- L4: Desenvolvimento de sistema para gestão energética pelo lado da demanda, associado a outros serviços e com foco no consumidor, promovendo a socialização do consumo eficiente através da utilização de canais multimídia interativos, integrados à plataforma e aos conceitos do Programa *Smart Grid*.
- L5: Desenvolvimento de um sistema inteligente de gestão de fontes renováveis, armazenamento distribuído e veículos elétricos recarregáveis, integrados à plataforma e aos conceitos do Programa *Smart Grid*.

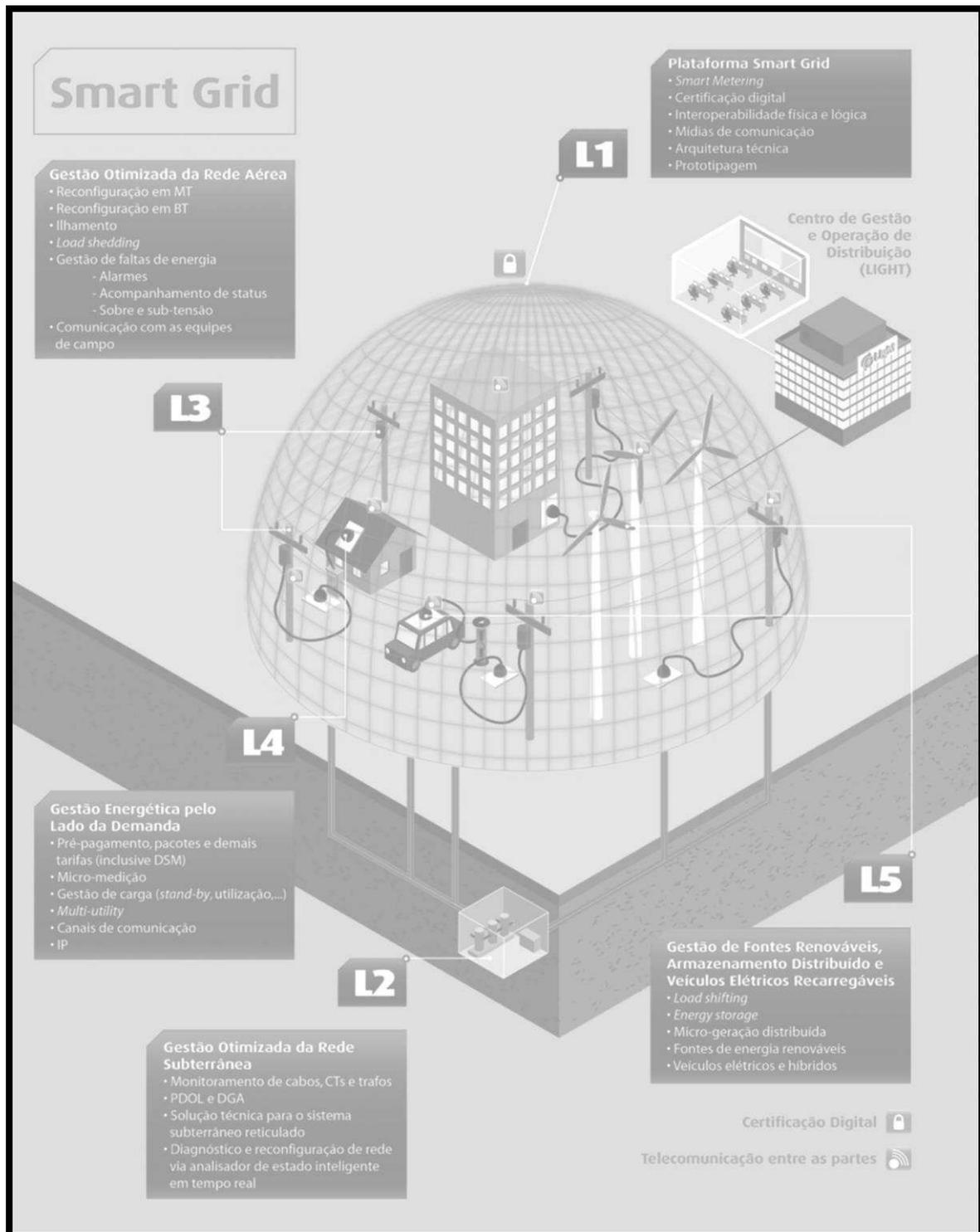


Figura 20 – Programa *Smart Grid Light* [1].

5.2.2 EXECUÇÃO DO PROGRAMA

5.2.2.1 PROJETO L1

O projeto L1 serve de base para a definição da tecnologia comum às redes elétricas inteligentes na Light, potencialmente aplicável em todo o País. Esta primeira parte do programa é fundamental, na medida em que cria a plataforma e os conceitos necessários para garantir que os demais projetos (atuais e futuros) operem e evoluam de forma sinérgica, estratégica, interoperável, segura, harmoniosa e eficiente.

O projeto L1 é o responsável pela definição da arquitetura-padrão do Programa *Smart Grid*, bem como pelo gerenciamento da prototipação dos elementos que o compõem, como suporte aos demais projetos (L2, L3, L4, L5), por meio do desenvolvimento de novos dispositivos, softwares, processos e serviços. Coube ainda ao projeto L1 desenvolver um sistema de certificação digital para medidores inteligentes e aplicações de redes elétricas inteligentes, de forma a utilizar todo o avançado arcabouço jurídico, reconhecido no Brasil, para enquadrar as transações eletrônicas dentro de um modelo jurídico consagrado. Dessa forma, busca-se avançar para o estado da arte no que diz respeito ao aspecto segurança de dados – essencial para a operação adequada dos sistemas de redes elétricas inteligentes. Além disso, ainda dentro do escopo do projeto L1, foram desenvolvidos medidores inteligentes de faturamento e monitoramento da rede.

O projeto L1 pode ser considerado inovador na medida em que define não apenas os aspectos pontuais relacionados à tecnologia de redes elétricas inteligentes, mas todo o arcabouço de aplicações dentro da distribuição, incluindo desde a medição e automação das redes aéreas e subterrâneas, via supervisão efetiva de configurações de rede, até a gestão pelo lado da demanda. Em termos de originalidade, este projeto é único no Brasil e, potencialmente, no mundo.

- Arquitetura técnica, prototipagem e padronização.

O projeto L1 definiu o desenho da arquitetura técnico-tecnológica de todo o Programa *Smart Grid Light*, com base em pesquisa e testes práticos (laboratoriais e de campo – *site surveys*), e contemplou, entre outros, os seguintes aspectos:

- Análise de segurança de dados.
- Testes e consequente seleção de mídias de comunicação indoor e outdoor nos mais diversos ambientes em que a tecnologia pode ser aplicada (interior de câmaras subterrâneas, subestações, residências, etc.).
- Cenários e testes de penetração.
- Análises de robustez.
- Cenários de expansibilidade.
- Viabilidade técnica, econômica e financeira.
- Prévio levantamento de requisitos das diversas áreas de negócio da Light.
- Mapeamento de produtos, serviços e consequente tráfego de dados.
- Classificação dos dados (financeiro, confidencial, restrito, etc.).
- Categorização das exigências de comunicação e processamento (*off line*, *on line*, *real time*) dos diversos serviços e entidades da plataforma de redes elétricas inteligentes da Light.
- Cenários progressivos de aplicação dos produtos e serviços definidos.
- Mapeamento de hipóteses e riscos.
- Elaboração de estudos de caso e mapeamento de processos.

Dentro do projeto L1, foram definidos:

- Protocolos de comunicação para as camadas física e lógica.
- Protocolos de comunicação para a camada de aplicação.
- Especificação e desenvolvimento dos hardwares.
- Desenvolvimento dos sistemas de software para dar respaldo à utilização dos equipamentos.

O projeto L1 centralizou toda a construção dos protótipos de todos os componentes do Programa *Smart Grid* previstos pelos projetos L1, L2, L3, L4 e L5, tais

como: medidores, displays, tomadas inteligentes, acionadores, sensores, gateways de comunicação, sistemas especialistas e concentradores de dados. Todos eles foram testados no projeto L1 no tocante a aspectos ligados à arquitetura técnica (interoperabilidade e intercambialidade) antes de serem enviados a produção.

- Sistema de certificação digital

O Brasil é um dos países que utilizam os processos de certificação digital para atender aos aspectos legais relacionados às transações eletrônicas. O projeto L1 utiliza a certificação digital para assinar, eletronicamente, os dados que dão origem ao faturamento e a outras operações relevantes e, dessa forma, garantir o rastro de auditoria necessário para aumentar a segurança das transações de todos os atores envolvidos no cenário de redes elétricas inteligentes:

- Clientes da Light, como consumidores de energia.
- Light, como concessionária e geradora da fatura para seus clientes.
- Inmetro, como agente metrológico, responsável por homologar equipamentos que são usados como medidores.
- Órgãos públicos, além de peritos e de representantes do poder público, responsáveis pela resolução de contenciosos entre a Light e seus consumidores no caso de dúvidas sobre a medição.

O projeto visa definir o padrão da utilização da certificação digital nos aspectos relacionados à medição inteligente, o que deu origem a um chip de certificação digital, incorporado aos instrumentos, que guarda, de maneira segura e eficiente, o certificado digital emitido pela Autoridade Certificadora (AC) acreditada pelo agente metrológico. Dessa forma, são garantidas as seguintes vantagens:

- A garantia cabal de que o dado que dá origem ao faturamento provém do medidor correto e de que não houve erros de transcrição
- Inconsistência entre a informação apresentada pelo medidor e os dados utilizados para gerar a fatura de energia.
- A garantia plena, decorrente de que os dados são provenientes de um medidor homologado pelo agente metrológico.

- A segurança de que os dados contém, entre outras informações, o devido rastro de auditoria, para resolução de possíveis questionamentos do consumidor e que, ainda, são suficientes para determinar a correção do procedimento de faturamento no caso de uma ação de pericia solicitada pela Justiça.
- Medidores inteligentes de faturamento e gestão da rede elétrica

A Light desenvolveu medidores inteligentes no projeto L1 para fins de faturamento e monitoramento da rede. Eles são capazes não apenas de atender as necessidades metrológicas básicas, mas também de estabelecer com os usuários canais de interação inovadores, tais como: TV, mídias sociais, Internet e telefone celular, disponibilizando a seus clientes as informações sobre consumo a partir de qualquer lugar do planeta, por meio da mídia que lhes seja mais familiar ou conveniente. Entre outras características, os medidores desenvolvidos são interoperáveis e intercambiáveis e utilizam técnicas avançadas de segurança da informação para garantir a fidelidade e inviolabilidade dos dados, como, por exemplo, a certificação digital, que confere segurança e respaldo jurídico as transações de comunicação e de registro de dados de medição. Todos os kWh incrementados no medidor são certificados digitalmente, assim como todos os dados por ele transmitidos.

Os medidores desenvolvidos também estão em conformidade com as especificações vigentes e ora pretendidas (consultas publicas) da ANEEL. Entre elas, a medição de:

- Tensão: valor eficaz instantâneo de módulo e fase da tensão monofásica e, para os casos polifásicos, também da tensão entre fases.
- Corrente: valor eficaz instantâneo de módulo e fase da corrente por fase.
- Energia elétrica ativa: valores integralizados em intervalos de quinze minutos para fins de consumo.
- Energia elétrica reativa: valores integralizados em intervalos de quinze minutos para fins de consumo.
- Demanda ativa: valor instantâneo da demanda ativa monofásica ou polifásica para fins de consumo, devendo registrar data e hora do instante de ocorrência da demanda ativa máxima durante o ciclo de faturamento.

- Demanda reativa: valor instantâneo da demanda reativa monofásica ou polifásica para fins de consumo, devendo registrar data e hora do instante de ocorrência da demanda reativa máxima durante o ciclo de faturamento.
- Fator de potência: valor instantâneo do fator de potência, devendo registrar data e hora do instante de ocorrência dos fatores de potência mínimo e máximo durante o ciclo de faturamento.
- Frequência: valor instantâneo da frequência da corrente por fase.

E ainda, funcionalidades complementares:

- Registro de frequência de interrupções: deve ser registrado o número de interrupções consideradas para efeito de cálculo de Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão – FIC ocorridas por ciclo de faturamento.
- Registro de duração de interrupções: deve ser registrada a duração total das interrupções consideradas para efeito de cálculo de Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão – DIC, assim como aquela correspondente a Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão – DMIC, devendo ser adicionalmente registradas data e hora de início e fim de cada interrupção ocorrida por ciclo de faturamento.
- Registro de duração de transgressão de tensão: devem ser registradas as durações totais consideradas para efeito de cálculo de Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária – DRP e de Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica – DRC por ciclo de faturamento.
- Postos tarifários: deve haver capacidade de aplicação de tarifas diferenciadas por postos horários e sazonais, devendo ser programáveis o início e o fim de cada posto.
- Pré-pagamento: deve haver capacidade de operação do medidor em modo de pré-pagamento.
- Atuação remota: deve haver capacidade de interrupção e reativação do fornecimento de energia de forma remota, devendo ser registradas data e hora de todas as atuações realizadas por ciclo de faturamento.

- Parametrização e leitura remotas: deve haver capacidade de monitoramento e controle remoto dos parâmetros associados às grandezas medidas e funcionalidades complementares do medidor.

5.2.2.2 PROJETO L2

Nesta segunda parte do projeto, foi desenvolvida uma plataforma de redes elétricas inteligentes para sistemas subterrâneos, que conta com analisadores e estimadores de estados, em tempo real, e reconfigurações estratégicas da rede em momentos de contingência.

Essa plataforma prevê elementos sensores e acessórios de comunicação que incluem a possibilidade de:

- Detectar intrusão.
- Detectar presença de gases inflamáveis.
- Monitorar temperatura.
- Monitorar o estado de atuadores.
- Monitorar e comandar chaves de média tensão.
- Monitorar funcionamento de sistema de ventilação.
- Detectar alagamento/inundação.
- Fazer a leitura remota de medidores de energia e outras grandezas elétricas.

5.2.2.3 PROJETO L3

O projeto L3 tem como objetivo desenvolver metodologia e sistema de gestão de ativos, em regime normal e emergencial. Deve possibilitar a reconfiguração em média e baixa tensão, redução de pico (*load shedding*), *load curtailment* (método de revezamento de cortes de energia, no medidor, entre clientes), deslocamento de carga (*load shifting*), gestão do sistema em modo ilhado, gestão de interrupções no fornecimento de energia e comunicação com equipamentos e equipes em campo. O projeto desenvolveu um sistema de tomada de decisão em tempo real que permite aumentar os níveis de robustez e eficiência nas operações de rede via serviços de reconfiguração automática e gestão de carga. Ele permite a autorrecuperação do sistema

de distribuição, bem como a minimização dos impactos para os consumidores e para a concessionária quando da ocorrência de anomalias no fornecimento de energia.

O projeto prevê ainda o desenvolvimento de um sistema e dispositivos que permitam a conexão de fontes de energia distribuídas na rede para a formação de ilhas de consumo. Essas *microgrid*, como pode-se observar na Figura 21, devem ser formadas na ocorrência de suspensão regional do fornecimento de energia, como suporte ao sistema de autorrecuperação descrito. Nesse caso, parte da rede de média tensão seria isolada, por exemplo, via utilização de religadores acionados de forma remota, para permitir que o trecho seja temporariamente suprido por fontes de geração e/ou armazenamento distribuídos de energia.

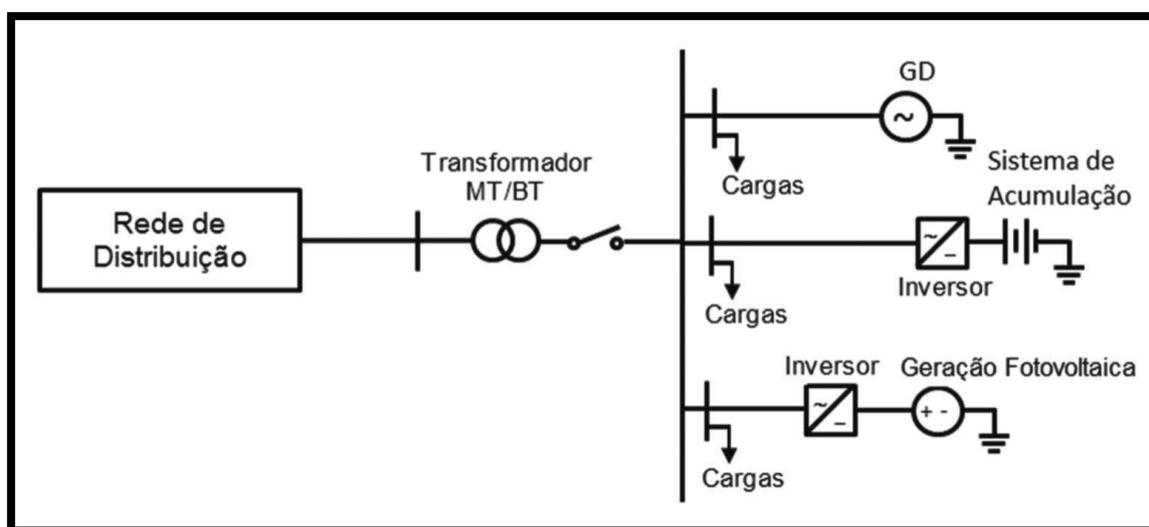


Figura 21 – Cenário *Microgrids* [1].

5.2.2.4 PROJETO L4

No projeto L4, foram desenvolvidos: metodologia, dispositivos e sistema para micromedição e controle de consumo de energia em consumidores residenciais e comerciais através da gestão energética pelo lado da demanda.

Portanto, foram desenvolvidos tomadas inteligentes, serviços interativos com os clientes, com o objetivo de influenciar seu comportamento de consumo e uma plataforma de gestão inteligente e eficiente de iluminação pública.

Os produtos e serviços do projeto L4 são apoiados pela infraestrutura de comunicação, por plataforma e conceitos desenvolvidos no projeto L1, tais como medidores inteligentes e *displays multi-utilities*. Dessa forma, os *displays* desenvolvidos no projeto L1 foram integrados aos medidores de água e gás no projeto L4 para permitir

a gestão, pelos clientes, de seus diversos insumos, de forma simultânea e centralizada. São suportados ainda por uma série de tarifas e serviços inovadores tais como pré-pagamento e tarifas diferenciadas.

No projeto L4 foram desenvolvidos os canais de interação e serviços inovadores ilustrados na Figura 22.

- Canais de interação diferenciados

O novo cenário tecnológico traz uma série de possibilidades ao consumidor no que diz respeito aos mais variados canais de interação com a concessionária.

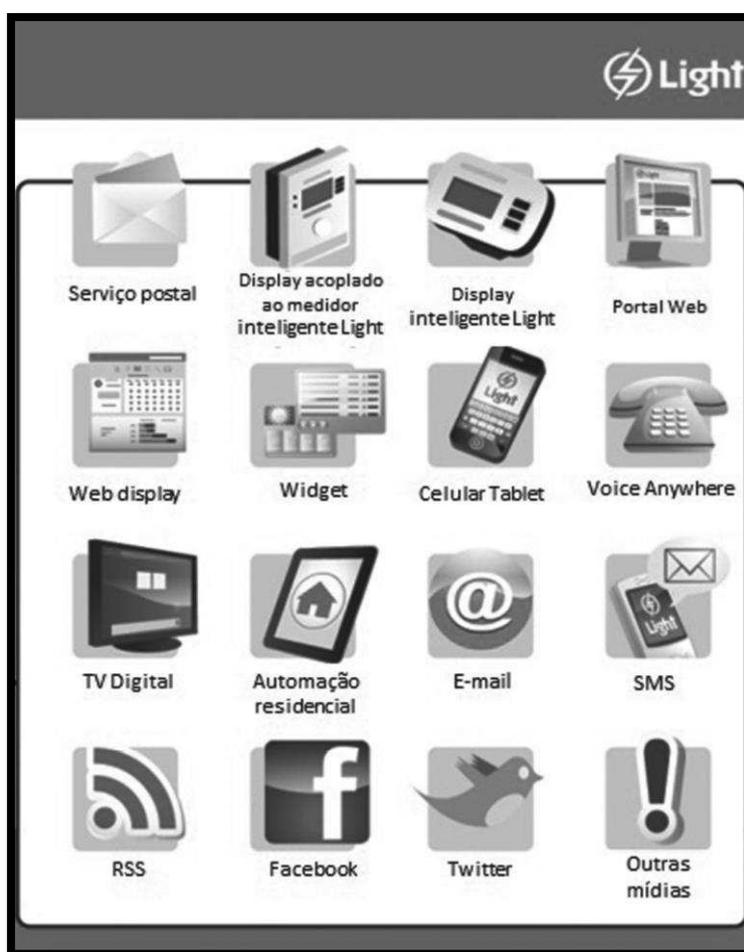


Figura 22 – Canais de interação [1].

- Pré-pagamento inteligente de energia

Para que a inclusão dos clientes seja realmente efetiva, não basta tratar apenas os aspectos socioeconômicos e tecnológicos, considerados no desenvolvimento de

produtos e serviços mencionados. A inclusão financeira é obtida por meio da adequação dos gastos com energia a frequência do recebimento de recursos financeiros. Desse modo, o projeto L4 estudou esse aspecto e criou serviços customizados, como é o caso do serviço de pré-pagamento inteligente. Esse sistema de pré-pagamento inteligente permite a realização de pagamentos considerando:

- Cartões de raspar contendo crédito de energia que podem ser comprados em lojas e ativados mediante sistema de mensagens (SMS), por telefone, acesso a portal corporativo ou Internet.
 - Compras via sistema corporativo da Light e de parceiros, Internet ou automaticamente agendadas (exemplo: enviar x kWh ao cliente todo primeiro dia útil do mês durante n meses).
 - Desenvolvimento de bornes automáticos para aquisição e recarga de crédito.
 - Aquisição e recarga de crédito via canais de comunicação desenvolvidos neste projeto e no projeto L5 (display dos carros elétricos e híbridos recarregáveis).
-
- Tomadas inteligentes

As chamadas tomadas inteligentes ajudam a identificar o consumo real de cada carga de modo a priorizá-las em eventos de chaveamento e promover o melhor uso da energia elétrica, com baixo ou nenhum impacto nos serviços prestados aos clientes. Para tal, o projeto L4 desenvolveu uma tecnologia de tomadas inteligentes como pode-se observar na Figura 23.



Figura 23 - Interface desenvolvida para celular e *tablet* para permitir a gestão remota das tomadas inteligentes do Programa *Smart Grid Light* [1].

Em geral, os equipamentos de linha branca (geladeira, ar-condicionado, micro-ondas, aquecedor de água e lavadora de roupas) são responsáveis por alto consumo nas residências. Por essa razão, essa linha de eletrodomésticos é, em linhas gerais, priorizada quando o assunto é gestão pelo lado da demanda. Porém, a automação exclusivamente elétrica, através de dispositivos externos, como, por exemplo, relés ou tomadas inteligentes, não é recomendada para alguns desses equipamentos. Isso ocorre pelo fato de tais equipamentos possuírem programações de fábrica que podem ser afetadas por chaveamentos externos. Os dispositivos inteligentes desenvolvidos foram efetivamente integrados aos eletrodomésticos, e já permitem a comunicação efetiva entre eles, através de barramentos de comunicação e protocolos específicos. Assim, tais dispositivos permitem, mediante consentimento dos clientes e assinatura de contrato específico, o monitoramento e o acionamento remotos dos eletrodomésticos inteligentes (*smart appliances*) em tempo real.

Foi desenvolvido também um Controlador Domestico de Automação (CDA). Tal equipamento, ilustrado na Figura 24, é responsável ainda por gerenciar o tráfego de dados, de forma segura e otimizada, entre os diversos dispositivos mencionados e por permitir sua integração com os diversos canais de interação inovadores desenvolvidos neste projeto. Assim, permitirão, por exemplo, que os clientes possam programar e acompanhar o status de sua tomada ou eletrodoméstico inteligente através de seu telefone celular.

No projeto L4 foram desenvolvidos medidores inteligentes customizados que permitem a automação de iluminação pública. Trata-se de medidores inteligentes de energia com função de fotocélula integrada, que podem ser instalados na mesma base de uma fotocélula comum.



Figura 24 - Medidores inteligentes para iluminação pública, semáforos e similares [1].

Além de permitir o cadastramento automático do ponto de iluminação pública, sua medição e o respectivo acionamento local ou remoto, o equipamento permite:

- Detectar funcionamento irregular da luminária, como:
 - Acendimento sem comando.
 - Acendimento irregular durante o dia.
 - Não acendimento.
 - Detecção de lâmpada queimada ou piscando.
 - Reator queimado.
 - Fotossensor defeituoso.
- Detectar alteração da potencia da luminária.
- Gerar alarmes para todos os eventos anormais expostos.
 - Realização de configurações customizadas de acionamentos para permitir ações que gerem eficiência energética, como, por exemplo, de madrugada, ligar luminária sim, luminária não em uma praça.

- Detectar anomalias (falta de fase) em circuitos dedicados de iluminação pública.
- Dimerizar lâmpadas LED.
- Armazenar informações da curva de carga em memória de massa de dados de energia ativa e reativa.
- Ler, no mínimo, os seguintes parâmetros instantâneos:
 - Tensão.
 - Corrente.
 - Potência ativa e reativa.
 - Temperatura.
 - Status do rele.
 - Status do sensor fotoelétrico.
 - Programação corrente (ligar e desligar em determinado horário).

5.2.2.5 PROJETO L5

Este projeto trata das tendências do setor elétrico nacional no que diz respeito a um novo paradigma de consumo, clientes móveis de energia (veículos elétricos e híbridos recarregáveis), de produção de energia distribuída e integrada (*virtual power plants*) e finalmente de produção e consumo conjugados, podendo transformar os clientes da concessionária em “prosumidores” (produtores e consumidores) de energia elétrica. Para tal, o projeto L5 integra veículos elétricos, fontes renováveis de energia e armazenamento distribuído de energia em baixa tensão a arquitetura técnica desenvolvida no projeto L1.

- Terminais de recarga inteligente de veículos elétricos e híbridos recarregáveis

O terminal de recarga desenvolvido é modular e foi especificado para recarga lenta, mas pode ser integrado a sistemas de recarga rápida. Esses terminais atendem às necessidades de diferentes ambientes e aplicações tais como: estacionamentos públicos, privados, prediais (garagem de prédios) e marinas.

- Geração e armazenamento distribuídos

O cliente poderá se tornar um “prosumidor” de energia. Sistemas de geração e armazenamento distribuídos instalados na residência do cliente permitem que ele exporte energia para a rede ou utilize-a no horário de ponta, beneficiando o próprio cliente (tarifas diferenciadas), o meio ambiente e o sistema elétrico.

5.2.3 RESULTADOS PRELIMINARES

Todos os equipamentos desenvolvidos foram instalados em laboratório e em projetos pilotos internos em ambiente controlado e serão disponibilizados progressivamente aos clientes participantes do projeto piloto de campo. A Light possui atualmente cerca de 150.000 medidores AMI. Dessa forma, os testes-piloto de campo não objetivam analisar aspectos ligados ao volume de transações, mas o sucesso da interação com os consumidores. Por essa razão, o projeto-piloto de campo abrange entre mil e três mil residências em quatro áreas no Rio de Janeiro, de forma a validar aspectos socioculturais, técnicos, regulatórios, tecnológicos e econômicos.

De forma progressiva, os produtos e serviços desenvolvidos serão instalados na rede ou na residência dos clientes participantes do projeto-piloto, permitindo sua educação e adaptação gradativa à nova realidade. Além disso, as equipes do programa interagirão com os clientes durante todo o tempo de forma a explicar o funcionamento das tecnologias e orientá-los a respeito do consumo eficiente. O *feedback* dos clientes será coletado a todo o momento, o que permitirá o contínuo aperfeiçoamento do programa.

6 CONCLUSÃO

Para a implantação das redes elétricas inteligentes é indispensável o serviço adequado e conjunto de telecomunicação, automação e gerenciamento de energia. É de suma importância a utilização de pesquisas para desenvolver, ou eleger entre as existentes, uma tecnologia adequada, para cada região. Para garantir o processamento do grande volume de dados nos centros de controle se faz necessário o desenvolvimento ou adequação das ferramentas computacionais buscando um sistema de gerenciamento mais eficaz e eficiente.

Como desafios desse desenvolvimento há a necessidade de investimento em projetos pilotos para testar a integração de novas tecnologias, pela troca de conhecimentos obtidos com as novas experiências e pelas pesquisas básicas em diversos campos da tecnologia e da ciência. Podermos ter diversos desafios, mas, o grande desafio será que esta transformação seja não somente aceita pelo cliente, mas que o eleve a outro patamar de instrumentalização e informação sobre o uso e gestão consciente da energia e sobre seu papel num novo cenário de eficiência sistêmica, que será melhor à sociedade e ao planeta.

A implantação das redes elétrica inteligentes necessita de toda uma reformulação física e computacional, pois, cada região tem suas características econômicas, culturais, climáticas e geográficas, que vão exigir modelos e tecnologias próprias. Os planos-pilotos, em execução no Brasil, terão o grande objetivo de definir quais os melhores serviços, tecnologias e padrões para cada região. A partir de experiências internacionais como no caso do *InovCity* em Évora, temos a absoluta certeza do sucesso da implantação desta nova tecnologia.

7 BIBLIOGRAFIA

[1] TOLEDO, F. Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes: Smart Grid Handbook. 2012. Brasport livros e multimídia LTDA.

[2] Relatório Smart Grid, Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. Ministério de Minas e Energia, 2010.

[3] LAMIN, HUGO. (2013). Análise de Impacto Regulatório da implantação de redes inteligentes no Brasil. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE. TD-076/13, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 300p.

[4] 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.

[5] ALMEIDA, E. M. Norma IEC 61850 – Novo Padrão em Automação de Subestações, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 2011.

[6] SACCONI, Luiz Antonio, Grande Dicionário Sacconi da língua portuguesa: comentado, crítico e enciclopédico. São Paulo: Nova Geração, 2010.

[7] CAMPOS, ALEXANDRE. Gerenciamento pelo lado da demanda: um estudo de caso. São Paulo, 2004.

[8] CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Redes elétricas inteligentes: contexto nacional. - Brasília, DF. 2012. Disponível em: <http://www.cgee.org.br> [Acesso em: outubro/ 2013]

[9] SMART METERING PROJECTS Map, Energy UK. Disponível em: <http://www.energy-uk.org.uk/home.html> [Acesso em 07/10/2013]

[10] http://www.enel.com/en-GB/innovation/smart_grids/smart_metering/telegestore/
[Acesso em 07/10/2013]

[11] <http://www.inovcity.pt/pt/Pages/homepage.aspx> [Acesso em 14/10/2013]

[12] ROCHA, Pedro M. C. F. Estratégia Nacional para a Energia em Portugal em 2020. Eixo da Eficiência Energética, Universidade Nova de Lisboa, 2013.

[13] <http://smartgridlight.com.br/> [Acesso em 13/10/2013]