

# Smart Metering Como Ferramenta de Eficiência Energética

Haroldo L. M. do Amaral

André N. de Souza

LSISPOTI – Laboratório de Sistemas de Potência e Técnicas Inteligentes  
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Bauru – SP, Brasil  
agaelema@gmail.com,  
andrejau@feb.unesp.br

Filipe Fernandes

Zita Vale

Knowledge Engineering and Decision Support Research Center - GECAD  
Instituto Politécnico do Porto – ISEP/IPP

Porto, Portugal  
fijgf@isep.ipp.pt, zav@isep.ipp.pt

Danilo Sinkiti Gastaldello

LSISPOTI – Laboratório de Sistemas de Potência e Técnicas Inteligentes  
Universidade de São Paulo – USP  
São Paulo – SP, Brasil  
danilo.gastaldello@usp.br

**Resumo**—As *smart grids* e os *smart meters*, ou redes inteligentes e medidores inteligentes, respectivamente, estão cada vez mais próximos dos consumidores residenciais pelo mundo. Vários países vêm desenvolvendo estudos focados nos impactos decorrentes da introdução destas tecnologias. Uma das principais vantagens está relacionada à eficiência energética, ou conscientização da população em prol de um consumo mais eficiente. Estes benefícios são sentidos diretamente pelo consumidor através da economia nas contas de energia elétrica e pelas concessionárias através da minimização das perdas de transmissão e distribuição, estabilidade do sistema, menor carregamento nos horários de pico, entre outros. Neste artigo são apresentados dois projetos que demonstram o potencial de economia de energia através dos medidores inteligentes e das redes inteligentes. O primeiro realizado na Coreia, com foco na instalação de *smart meters* e o impacto da utilização de interfaces com o usuário. O segundo realizado em Portugal, com foco no controle das cargas em uma residência com geração distribuída.

**Palavras Chave**-- Smart Meter, Eficiência Energética, Smart Grid, Demand Response.

## I. INTRODUÇÃO

O aumento crescente na demanda por energia elétrica tem relação direta com o crescimento da população bem como com os avanços tecnológicos. Smart meter e smart grid são fontes de estudos em constante desenvolvimento nos últimos anos.

Este trabalho visa introduzir alguns dos principais conceitos relacionados às redes inteligentes e medidores inteligentes além de relacionar e apontar exemplos que comprovem seus benefícios com relação à eficiência energética.

Atualmente discute-se muito sobre *smart grid* e esta realidade está cada dia mais próxima dos consumidores, principalmente dos consumidores residenciais. Existem inúmeras vantagens em sua utilização e dentre elas pode-se

citar o monitoramento contínuo da rede de modo abrangente, monitoramento do padrão de qualidade da energia elétrica (QEE), integração entre as redes, possibilidade de introdução do conceito de geração distribuída, micro redes, entre outros.

Mundialmente, a maior parte dos países utilizam as redes elétricas de maneira tradicional e unidirecional, levando a energia de grandes unidades geradoras até grandes centros consumidores, em um processo que envolve perdas durante a transmissão e distribuição. Para grande parte dos consumidores, a tarifação ocorre através de um medidor eletromecânico que registra o consumo total dentro de um período de tempo. Devido às dificuldades envolvidas no processo de tarifação com os medidores convencionais, foi desenvolvido um sistema automático para medição do consumo de energia, este recebeu o nome *Automatic Meter Reading (AMR)*, sendo o precursor das tecnologias mais recentes envolvidas nas *smart grids*. Segundo [1]-[2], *smart grid* é um novo conceito para as redes elétricas que utilizam vias bidirecionais, tanto para energia como para comunicação de dados, tecnologias de segurança cibernética aplicada e inteligência computacional, integrando a geração, a transmissão, a distribuição e os consumidores para alcançar um sistema limpo, seguro, viável, confiável, eficiente e sustentável. Esta infraestrutura encoraja os consumidores a participarem ativamente na rede, devido, por exemplo, aos programas para o corte ou redução de consumo (*Demand Response*) e aos sistemas de micro geração instalados nas estruturas dos consumidores (painéis fotovoltaicos) [2].

Após a introdução na seção I, a seção II trata sobre os conceitos de *smart meter* e de *smart grid* apresentando alguns aspectos importantes para a utilização eficiente da energia elétrica. A seção III apresenta dois trabalhos realizados por outros autores e que estão diretamente relacionados com os conceitos abordados. Na sessão IV são apresentadas possibilidades futuras de aplicações relacionadas aos *smart meters* e as *smart grids*. Para finalizar, na sessão V deste artigo são apresentadas as principais conclusões.



consumidores poderão avaliar instante a instante como anda o seu consumo de energia, o valor instantâneo da energia (principalmente em uma realidade baseada no sistema AMI na qual o preço da energia varie de acordo com a oferta e demanda), as projeções de consumo mensal, entre outros.

A simples possibilidade do consumidor verificar os seus dados em tempo real leva-o inconscientemente a um consumo mais eficiente, visto que impacta diretamente nos custos com o consumo de energia elétrica.

Um dos maiores problemas da eficiência energética está relacionado com a conscientização dos consumidores para a necessidade e benefícios que podem ser alcançados através da utilização consciente da energia elétrica. A instalação e utilização de medidores inteligentes é uma boa forma de educar os consumidores para a prática de um consumo eficiente. Mas é importante salientar que a introdução de medidores inteligentes por si só não garante um padrão de consumo mais eficiente por parte dos consumidores. É necessária a adoção de interfaces visuais de fácil acesso e entendimento aos consumidores [4].

Outra possibilidade que surge é a adoção de tarifas diferenciadas em relação ao tempo, levando os consumidores a consumirem menos nos períodos de pico, onde a energia elétrica é mais cara (minimizando as perdas para as concessionárias de energia, desde perdas por sobrecarga nos transformadores, como as perdas na transmissão pelo excesso de carregamento das linhas) e consumirem mais em outros momentos que julgarem mais interessantes. Em uma vertente similar surge também a possibilidade de implantação do conceito de *demand response*.

O conceito de *Demand Side Management (DSM)*, ou gerenciamento pelo lado da demanda foi introduzido inicialmente na década de 80 pelo *Electric Power Research Institute (EPRI)*, um conceito com atividades envolvendo concessionárias e governo para aumentar o bem estar social. Isto possibilita um aumento na eficiência de uso final da eletricidade e fontes relacionadas através da minimização do consumo nos momentos de pico, regras de ajuste estrutural, controle do preço e também otimização dos equipamentos e tecnologias. Segundo [2] para tornar o DSM mais efetivo é necessária uma intensa integração dos consumidores e suas cargas, informações sobre sua utilização e o centro de controle. Na *demand response* os consumidores voluntários terão cargas não prioritárias desligadas para minimizar o carregamento nos momentos de pico ou para manter os níveis e estabilidade do sistema.

Os dados obtidos pelos medidores inteligentes podem ser utilizados pelas concessionárias para obtenção de curvas de carga reais que por sua vez impactariam nos processos revisórios das tarifas. A *demand response* conjuntamente aos medidores amplia a capacidade de gerenciamento da rede, maximizando a eficiência energética [3].

Os consumidores devem sentir os benefícios subsequentes às tarifas diferenciadas através da diminuição no valor desembolsado com as contas de energia elétrica. A longo prazo, a minimização da necessidade de investimento referentes à expansão da rede será refletida nos processos de

revisão tarifária, novamente sendo interessante aos consumidores [12].

Um grande benefício decorrente das tarifas e também do *demand response* é a possibilidade de deslocamento das cargas para fora dos horários de pico ou de maior carregamento, algo complexo na estrutura atual de tarifação já que os consumidores não tem um retorno direto sobre tal ação [13].

Outro fator importante é a adoção dos *smart meters* juntamente com o emprego dos conceitos de geração distribuída e *demand response* que tornam a rede elétrica menos susceptível a falhas, por exemplo, um problema em um transformador de distribuição poderá ser suprimido por um grupo de consumidores que possuam fontes alternativas de energia, como eólica ou solar. O sistema se tornaria mais seguro contra falhas em equipamentos ou mesmo contra sobrecarga no sistema de fornecimento principal. O padrão de cargas tradicionalmente não é rígido, seguindo certa elasticidade que pode ser aproveitada em benefício das redes elétricas e do próprio consumidor [14]. O DSM e as redes inteligentes trabalham de maneira complementar [2].

A total implantação dos sistemas inteligentes não será imediata, mesmo em países onde planos e projetos piloto já foram iniciados. O governo do Reino Unido estima que até 2020 todas as residências estejam utilizando *smart meters* possibilitando que os consumidores tenham pleno controle sobre seu consumo e gastos. Os gastos referentes a instalação dos novos medidores serão custeados pelos próprios consumidores, entretanto, estes valores devem ser revertidos em função das economias alcançadas após a instalação do sistema [4].

### III. SMART GRID E SMART METERING NA PRÁTICA

Mundialmente existem diversos projetos piloto em desenvolvimento, conforme abordado anteriormente. A seguir serão apresentados dois projetos com focos diferentes e em países diferentes, que demonstram os potenciais benefícios decorrentes da implantação dos sistemas. O primeiro projeto, realizado na Coreia, é abordado detalhadamente em [11]. O segundo projeto, realizado em Portugal, é abordado detalhadamente em [14].

#### A. Impacto das Interfaces com o Usuário na Eficiência Energética

O aumento no custo dos combustíveis fósseis tem impactado diretamente aos geradores e fornecedores de energia, desencadeando enormes prejuízos econômicos. Dados da *Korea Electric Power Corporation (KEPCO)* apontam prejuízos da ordem de US\$ 1,3 bilhão no ano de 2008 em função do aumento do preço dos combustíveis. Nesta realidade a introdução do conceito de *smart metering* aliado à instalação de interfaces de fácil visualização aos clientes e preços dinâmicos tornam-se grandes aliados para conscientizar a população a um padrão de consumo mais eficiente e econômico [11].

O projeto piloto teve seu desenvolvimento iniciado em setembro de 2008 e implantação para testes entre dezembro de 2008 e fevereiro de 2009. Foram selecionados 77 participantes

voluntários onde os sistemas foram instalados, sendo 24 residências em Seoul e 53 em Cheongju.

O sistema desenvolvido era baseado no padrão *Energy Management System (EMS)* buscando aproveitar as infraestruturas disponíveis, minimizando os gastos associados. No sistema EMS, a busca pela eficiência energética é cultivada através do autogerenciamento, ou seja, através da disponibilização de informações detalhadas sobre o consumo atual ou do passado e com previsões futuras sem necessitar propriamente de mudanças na tarifa. Diferentemente, o sistema AMI induz economia de energia através das tarifas variáveis em função do tempo.

O principal foco do estudo foi avaliar o impacto das interfaces com o usuário, ou *In Home Display (IHD)*.

A estrutura do sistema pode ser vista na Fig. 3. Em virtude de grande parte das residências locais utilizarem ferroconcreto, optou-se pela utilização do sistema *Power Line Carrier (PLC)* para transmissão dos dados.

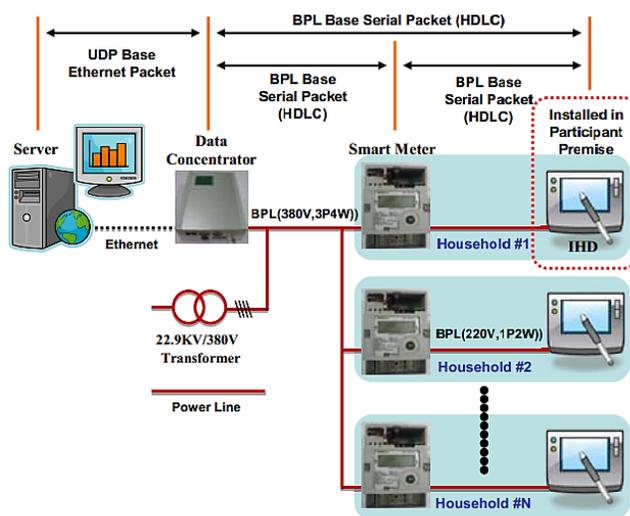


Figura 3. Estrutura do Sistema Desenvolvido no Projeto [11].

A interface com o usuário deveria ser simples e intuitiva facilitando o entendimento dos dados apresentados. São apresentados basicamente dados referentes ao consumo de energia, como:

- Acumulado atual do consumo de energia e montante a ser pago;
- Estimativa mensal;
- Média de fator potência; e
- Nível progressivo atual.

Além disso, disponibilizou-se dados estatísticos e utilidades como:

- Gráficos de consumo no tempo;
- Consumo e pagamentos anteriores;
- Consumo anual;

- Consumo médio de um grupo similar;
- Emissão de gases do efeito estufa;
- Informações sobre o clima; e
- Dicas sobre energia elétrica.

A fase de testes *in loco* teve duração de dois meses, onde no primeiro mês não eram instaladas as interfaces ao usuário, servindo como controle do padrão atual de consumo. No segundo mês foram implantadas as interfaces para avaliar o comportamento dos consumidores e impacto no consumo de energia elétrica.

Os resultados obtidos apontaram redução do consumo em 48 das 53 residências de Cheongju, com redução média de 15,9% no consumo de energia elétrica. Em Seoul, 22 das 24 residências registraram diminuição no consumo, com redução média de 7,5% no consumo.

### B. Controle Inteligente de Cargas

O surgimento do *smart grid* induziu mudanças no padrão tradicional das redes elétricas. Os *Smart Meters*, a geração distribuída, os preços dinâmicos e outros conceitos começam a ser colocados em prática.

Neste ponto os operadores das redes necessitam de novas ferramentas que possibilitem monitorar e controlar a rede de uma forma viável, segura e eficaz.

Um *Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)* é uma plataforma que incorpora diversos componentes e vem sendo aplicada aos sistemas elétricos para monitorar, operar e controlar cargas, desenvolvendo importante papel no controle da segurança e viabilidade dos sistemas elétricos [14].

O trabalho desenvolvido em [14] demonstra uma ferramenta para *smart home*, ou residências inteligentes, que controla uma casa com geração distribuída e suas cargas através de um sistema SCADA inteligente.

O sistema SCADA proposto trabalha em tempo real, ficando responsável por gerenciar as cargas em um momento de escassez no fornecimento de energia, beneficiando a rede elétrica e também o consumidor.

Uma ordem de mérito é utilizada como base para o gerenciamento das cargas. O *set point* referência utilizado no processo de gerenciamento pode ser definido pelo usuário, entretanto, se a energia gerada pela geração distribuída não for suficiente para manter todas as cargas o *set point* será ajustado automaticamente.

A plataforma de testes é parte do *Intelligent Energy Systems Laboratory (LASIE)* que conta com fontes renováveis de energia como turbinas eólicas, painéis fotovoltaicos e célula combustível, podendo operar no modo ilhado ou conectado a rede elétrica. A Fig. 4 apresenta um esquema das instalações do laboratório.

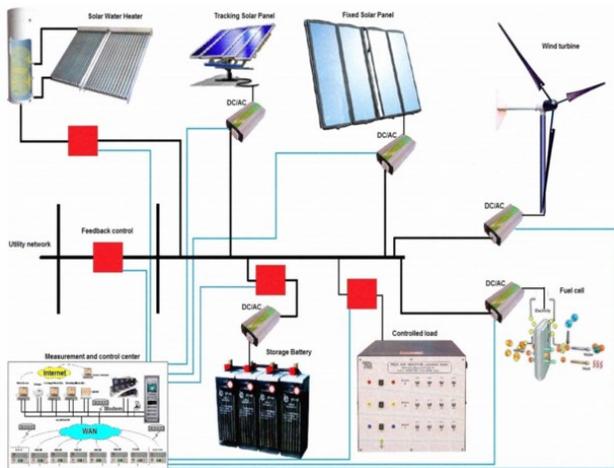


Figura 4. Sistema Renovável Instalado no Laboratório [14].

O estudo de caso apresentado leva em consideração cargas controláveis pelo sistema SCADA e também cargas não controláveis dentro de um período de 12 horas. Alguns dos resultados obtidos com o sistema são apresentados na Fig. 5, onde a linha pontilhada azul representa o *set point* definido, as barras vermelhas indicam o consumo elétrico antes do controle e as barras verdes representam o consumo após a otimização realizada pelo sistema.

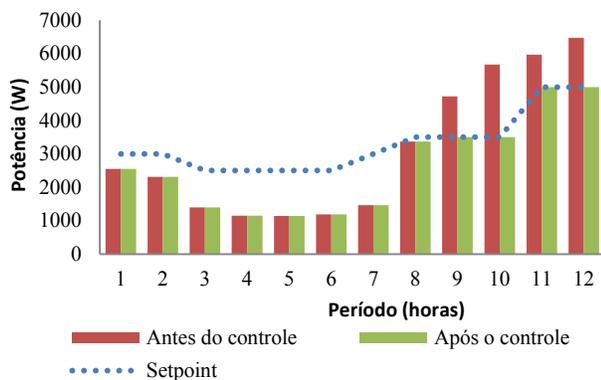


Figura 5. Resultados do Controle Em Um Intervalo de 12 Horas

Nos momentos onde o consumo total era menor do que o *set point* não ocorre otimização das cargas, entretanto, nos períodos de 9 a 12 fica evidente a otimização das cargas, visto que após a otimização o consumo não ultrapassou o limite estipulado. Mesmo com a presença de carga fixas, ou não controláveis, houve uma grande economia no consumo de energia elétrica.

Para o caso da otimização, as cargas que podem ser alteradas são as cargas controláveis, isto é, na otimização as cargas não controláveis mantêm o mesmo consumo sendo as cargas controláveis as responsáveis por igualar o consumo da instalação ao *set point* através de uma redução parcial do próprio consumo.

Os resultados obtidos em [14] demonstram a eficácia do sistema mantendo o consumo sempre dentro dos limites

predefinidos. A eficiência energética é um dos principais objetivos da *demand response* através de uma profunda coleta de dados dos usuários [2].

O sistema apresentado utiliza um controlador lógico programável (CLP) para a implementação do sistema SCADA. No futuro um sistema semelhante poderia ser integrado ao próprio medidor, tornando-se viável financeiramente a maioria dos consumidores. Esta possível funcionalidade depende principalmente da integração, comunicação dos dispositivos e da padronização nos protocolos adotados. Capacidade de processamento embarcado para tal controle não é um problema crítico atualmente.

#### IV. POSSIBILIDADES FUTURAS

Em decorrência da implantação dos medidores inteligentes e redes inteligentes surge um variado leque de novas possibilidades que tendem a aumentarem e amadurecerem conjuntamente com a rede e o surgimento de novas tecnologias.

O sistema AMI é um dos mais citados nas pesquisas e projetos implementados, entretanto o sistema EMS também traz inúmeros benefícios. Pode-se esperar no futuro a adoção de um novo sistema híbrido conciliando a característica de tarifas variáveis do sistema AMI com a estrutura de informações detalhadas do sistema EMS buscando melhores níveis de eficiência energética.

A quantidade, qualidade e clareza das informações são cruciais para que impactem diretamente no comportamento dos consumidores. É muito interessante a possibilidade de consulta dos consumos passados, das médias de consumo, bem como as previsões futuras de consumo baseadas no histórico comportamental do consumidor e também da região onde está instalado. Para este propósito sistemas com inteligência artificial como redes neurais são extremamente úteis possibilitando a formação dos padrões do usuário e obtenção de previsões de consumo.

Através desta análise comportamental surgem mais possibilidades. Por exemplo, as alterações drásticas nos padrões de consumo ou o consumo elevado e contínuo não esperado podem indicar problemas no consumidor, sendo possível uma interação com o mesmo para a comunicação de um possível problema existente na instalação do consumidor.

Outro problema que pode ser minimizado com a utilização dos medidores inteligentes está relacionado com as fraudes de energia. Estas fraudes representam energia “perdida” pelas concessionárias, podendo ser relacionados com a eficiência do sistema como um todo. Todos os medidores inteligentes possuem mecanismos comuns para detecção de possíveis fraudes. A análise do comportamento de consumo do cliente também pode acusar uma fraude em potencial. Medidores inteligentes podem ser a melhor maneira de combater as fraudes de energia devido à sua eficiência, segurança e imunidade a muitas “manobras” utilizadas para fraudar medidores eletromecânicos [15].

Segundo [3] os sensores necessários aos medidores inteligentes em um sistema AMI poderiam ser à base de um

sistema inteligente para compensação e controle de reativos. A partir dos dados obtidos pelos medidores, inversores inteligentes seriam acionados compensando reativos e quedas de tensão instantaneamente. Os sensores poderiam também ser utilizados como ferramenta para medição e controle de outros parâmetros relacionados à qualidade da energia elétrica como a distorção harmônica. Novamente os inversores inteligentes poderiam ser acionados para mitigar distorções harmônicas acima dos valores permitidos por norma, minimizando o fluxo de corrente nas linhas e consequentemente a quantidade de perdas na transmissão e distribuição.

#### V. CONCLUSÕES

O artigo apresentou o conceito de *smart meter* e *smart grid*, bem como características relacionadas e os benefícios verificados de sua implantação. Um dos pontos mais evidentes é a utilidade que os medidores inteligentes têm para ajudar o consumidor a verificar o consumo da instalação em tempo real com o apoio também de interfaces dinâmicas que motivam os usuários para uma melhor atenção ao consumo de energia elétrica.

Para melhor compreensão dos conceitos foram apresentados dois projetos desenvolvidos em diferentes países e com focos diferentes. O primeiro desenvolvido na Coreia, onde é apresentado um projeto piloto com a instalação *smart meters* e o impacto causado pela adoção de uma interface com o usuário que permita verificação dos dados de consumo. No segundo é abordado um sistema SCADA inteligente para controle das cargas em uma residência que possua geração distribuída. Neste caso focando no conceito de *demand response* e o impacto no consumo de energia elétrica.

Em ambos os casos fica evidente o potencial de economia de energia elétrica, que pode ser traduzido como aumento na eficiência de consumo ou conscientização por parte dos consumidores.

Por fim foram apresentadas possibilidades de aplicações futuras envolvendo as *smart grids* e os *smart meters*, todas impactando diretamente na eficiência energética das redes elétricas.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a parceria entre o Laboratório de Sistemas de Potência e Técnicas Inteligentes – LSISPOTI, na Universidade Estadual Paulista – UNESP e Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio a Decisão – GECAD, no Instituto Politécnico do Porto – IPP. A investigação que conduziram a estes resultados recebeu financiamento do programa *People Programme (Marie Curie Actions)* do *European Union's Seventh Framework*

*Programme FP7/2007-2013/* no âmbito do projeto *ELECON - Electricity Consumption Analysis to Promote Energy Efficiency Considering Demand Response and Non-technical Losses*, REA contrato de subvenção No 318912 (PIRSES-GA-2012-318912).

#### REFERÊNCIAS

- [1] X. Fang, S. Misra, G. Xue, D. Yang, "Smart Grid - The New and Improved Power Grid: A Survey.", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 14, no. 4, pp. 944-980, Fourth Quarter, 2012.
- [2] H. Sui, Y. Sun, "A Demand Side Management Model Based on Advanced Metering Infrastructure.", IEEE, 2011.
- [3] A. F. A. Aziz, S. N. Khalid, M. W. Mustafa, H. Shareef, G. Aliyu, "Artificial Intelligent Meter development based on Advanced Metering Infrastructure technology.", in Proc. 2013, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 27, pp. 191-197.
- [4] L. Zhou, F. Xu, Y. Ma, "Impact of Smart Metering on energy Efficiency.", in Proc. 2010, IEEE Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Qingdao., pp. 3213-3218.
- [5] A. Arif, M. Al-Hussain, N. Al-Mutairi, E. A. Y. Khan, N. Malik, "Experimental Study and Design of Smart Energy Meter for the Smart Grid.", IEEE, 2013.
- [6] S. Jung, T. Kim, H. Seo, S. Lee, J. Kwak, "The Prediction of Network Efficiency in Smart Grid.", in Proc. 2013, Electronic Commerce Research, vol. 13, no. 3, pp. 347-356.
- [7] H. Lamin, "Medição Eletrônica em Baixa Tensão: Aspectos Regulatórios e Recomendações para Implantação.", Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2009.
- [8] D. R. V. Leite, "Medidores Eletrônicos: Uma Análise da Viabilidade Econômica no Contexto das Redes Inteligentes.", Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2013.
- [9] US Department of Energy, "What the smart grid means to Americans.", Washington, 2010.
- [10] K. S. K. Weranga, D. P. Chandima, S. P. Kumarawadu, "Smart Metering for Next Generation Energy Efficiency & Conservation.", in Proc. 2012, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, ASIA.
- [11] T. Choi, K. Ko, S. Park, Y. Jang, Y. Yoon, S. Im, "Analysis of Energy Savings Using Smart Metering System and IHD (In-Home Display).", in Proc. 2009, IEEE Transmission & Distribution Conference & Exposition, Asia.
- [12] H. Lamin, "Análise de Impacto Regulatório da Implantação de Redes Inteligentes no Brasil.", Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2013.
- [13] M. Temneanu, A. S. Ardeleanu, "Hardware and Software Architecture of a Smart Meter Based on Electrical Signature Analysis." in Proc. 2013, The 8th International Symposium on Advanced Topics In Electrical Engineering, Bucharest, Romania.
- [14] F. Fernandes, T. Sousa, P. Faria, M. Silva, H. Morais, Z. A. Vale, "Intelligent SCADA for Load Control.", in Proc. 2010, IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC), pp. 2987-2994.
- [15] M. Anas, N. Javaid, A. Mahmood, S. M. Raza, U. Qasim, Z. A. Khan, "Minimizing Electricity Theft using Smart Meters in AMI.", in Proc. 2012, Seventh International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing.