



EEL805 CONDICIONAMENTO DE ENERGIA
OUTUBRO/2014
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

**SMART GRIDS – UMA VISÃO GERAL COM ENFOQUE EM CONDICIONAMENTO E
QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA**

Samuel G. Tomasin
Bruna F. Sales

Mateus D. Braga
Maria L. M. Barros

Vinícius Gonçalves
Luis F. R. Ferreira

Nicolas V. Bernardes
Felipe Cezar Salgado

Prof. Dr. José Maria de Carvalho Filho

Resumo - Este artigo apresenta uma visão geral sobre *Smart Grid*, este assunto vem sendo abordado com frequência devido a algumas vantagens em diversas áreas onde a comunicação e gerenciamento do sistema elétrico podem trazer uma otimização na qualidade, faturamento, confiabilidade, geração distribuída e medição.

Palavras-Chave: *Smart Grid*, comunicação e gerenciamento, qualidade, confiabilidade, geração distribuída e medição

I - INTRODUÇÃO

Este documento apresenta alguns conceitos importantes e atuais sobre *smart grids* a serem apresentados para alunos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Itajubá.

Este artigo foi dividido em tópicos com o objetivo de apresentar exemplos que possam ajudar os alunos a absorverem uma ideia geral sobre o assunto e instigá-los à futuras pesquisas e trabalhos na área. Visou-se integrar os trabalhos apresentados anteriormente na disciplina de modo a mostrar que dentro de uma rede inteligente praticamente todos os conceitos sobre geração, transmissão, faturamento, comércio, qualidade, confiabilidade, comunicação entre outros são incorporados e desenvolvidos.

II - VISÃO GERAL E COMPONENTES

O uso da energia elétrica tem aumentado bastante e tende a uma demanda crescente para os próximos anos. Com isso, foi necessário não só o aumento da geração de energia elétrica como também métodos para otimizar o consumo e a distribuição da mesma. Partindo deste princípio, surgiram as redes inteligentes ou *smart grid*. Esse conceito começou a ser estudado na década de noventa, devido

a necessidade de reestruturação das redes para uma adaptação a um novo patamar de desenvolvimento.

Segundo Petebel e Panazio, o termo *smart grid* é utilizado para denominar uma rede elétrica com comunicação digital, formada por uma variedade de tecnologias, cuja finalidade é integrar sistemas de automação, melhorar o aproveitamento dos sistemas elétricos de potência e prover suporte a novas aplicações. Para viabilizar esta tecnologia, são necessários amplos esforços na área de telecomunicações [1].

A cidade de Boulder, no Colorado foi a primeira cidade do mundo a fazer a implantação das tecnologias de *smart grid* através da empresa estatal Xcel Energy. Essa rede inteligente permite que a empresa obtenha dados remotamente dos medidores da cidade em tempo real, dirija o fluxo de potência a fim de desviá-los de linhas com problemas e seja capaz de identificar os desligamentos de energia sem a necessidade dos consumidores entrarem em contato com a concessionária.

As tecnologias de *smart grids* vêm sendo cada vez mais estudadas e implementadas pelos diversos países do mundo.

II.1 – Componentes de um *Smart Grid*.

A) Sistema elétrico convencional

Atualmente, o sistema elétrico pode ser descrito pelo diagrama simplificado conforme visto na Fig. 1: grandes usinas de geração (A) injetam eletricidade em um sistema de transmissão (B) que, após a transformação, é transportada por meio de um sistema de distribuição (C e D) para empresas (E) e residências (F), ou seja, é um sistema unidirecional, principalmente no seguimento de distribuição.



Fig. 1 - Sistema elétrico convencional

B) Visão conceitual de Redes Inteligentes

A Fig. 2 apresenta uma visão de futuro do que será uma rede inteligente. Neste caso, ao invés de um diagrama unidirecional, tem-se um diagrama multidirecional, com a energia fluindo pela rede em todas as direções, das grandes usinas para os consumidores, das fontes renováveis distribuídas pela rede para os consumidores, da geração residencial para a rede, etc.

Similar à internet (uma rede dinâmica), a rede inteligente será interativa para ambos consumidores e empresas de energia de todos os seguimentos (Geração, Transmissão e Distribuição). Assim, será possível que usuários finais produzam sua própria eletricidade e participem de programas de gerenciamento pelo lado da demanda.

Uma infraestrutura de comunicação de alta velocidade e bidirecional, medição inteligente e tecnologias de controle eletrônico representam a porta de entrada para o acesso à rede do futuro.



Fig. 2 - Redes Inteligentes

Na Fig. 2 tem-se:

1. Central inteligente de operação do sistema na empresa;
2. Grandes usinas estado da arte em geração eficiente de energia;
3. Residências (consumidores e/ou fornecedores);
4. Subestações automatizadas;
5. Comércio, indústria e governo (consumidores e/ou fornecedores);
6. Geração renovável de energia em pequena escala (microgeração);
7. Geração distribuída tradicional;
8. Armazenamento distribuído de energia;
9. Geração distribuída renovável de energia;
10. Equipamentos inteligentes e eficientes energeticamente;
11. Veículos elétricos ou híbridos plugáveis;
12. Informação de consumo em tempo real;
13. Programas de gerenciamento de energia pelo lado da demanda;
14. Medidores eletrônicos inteligentes;
15. Linhas de transmissão eficientes;
16. Linhas de distribuição com automação e sensoriamento

C) Componentes de uma Rede Inteligente

No nível físico, a rede inteligente é formada por cinco componentes fundamentais, como mostrado na Fig. 3:



Fig. 3 – Estrutura de uma Rede Inteligente

1) Novos componentes de rede: GD – Geração Distribuída na baixa tensão, como Veículos Elétricos e Híbridos Plugáveis, microturbinas, painéis solares fotovoltaicos, turbinas eólicas e unidades locais de armazenamento de energia, permitindo grande aumento do fluxo multidirecional de eletricidade entre a distribuidora e os usuários finais.

2) Dispositivos de sensoriamento e controle: nessas tecnologias se incluem os medidores avançados microprocessados (medidores inteligentes), sistemas de monitoramento de área ampla, regulador de linha dinâmico (baseado em leituras online de sensores de temperatura pela rede), ferramentas de tarifação por tempo de uso e por preço em tempo real, cabos e chaves automatizadas e relés de proteção digitais. Fazem parte também desse grupo as PMUs – Unidades de Medição Fasorial, que, distribuídas pela rede, podem ser usadas para monitoramento da qualidade da energia.

3) Infraestrutura de comunicações: redes de comunicação integradas baseadas em diversas tecnologias, como fibras óticas, microondas, infravermelho, PLC – Power Line Carrier, e redes de rádio sem fio, como GSM e CDMA, redes mesh, ZigBee, transferindo grandes quantidades de dados. Permite controle em tempo real, informação e troca de dados para otimização da confiabilidade do sistema, da utilização de ativos e segurança.

4) Automação e TI: permite diagnóstico rápido e soluções precisas para interrupções na rede ou grandes desligamentos. Essas tecnologias baseiam-se e contribuem para cada um dos outros quatro componentes. Sistemas nessa área incluem agentes inteligentes distribuídos, ferramentas analíticas (algoritmos e supercomputadores), e aplicações operacionais (sistemas SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition, automação de subestações, resposta da demanda, etc.).

5) Análise avançada: aplicações avançadas que permitem a operadores, projetistas de redes e executivos analisarem e extrair informações úteis da rede de forma funcional e flexível. Aqui se incluem as técnicas de visualização de grande quantidade de dados, os quais são reduzidos a formatos visuais de fácil entendimento, softwares capazes de oferecer múltiplas opções para o operador da rede tomar uma ação quando requerida e simuladores para treinamento operacional e análises de casos.

II.2 – Medidores inteligentes de energia e protocolos de comunicação.

Os medidores inteligentes são responsáveis por algo muito importante dentro de um ambiente de *smart grid*. Através destes, a energia será contabilizada e faturada devidamente mantendo padrões de qualidade da energia elétrica. Os Medidores eletrônicos comerciais surgiram nas décadas de 70 e 80, e a tecnologia foi sendo aprimorada até se tornarem equipamentos com circuitos integrados dedicados. Seu funcionamento está demonstrado na Fig. 4.

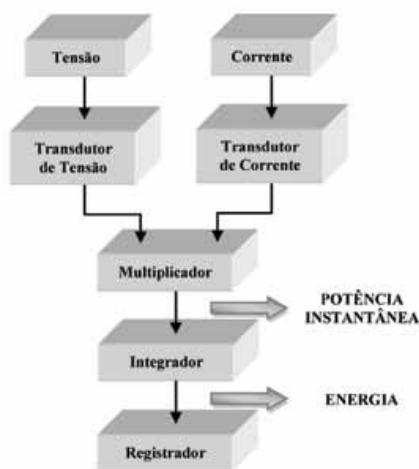


Fig. 4 – Diagrama de blocos de um medidor eletrônico

Atualmente, a função primordial de um medidor num ambiente de *smart grid* é integrar os medidores e levar informações dos *prosumers*, ou seja, quando um simples

consumidor é motivado a transacionar de forma bilateral com a concessionária [2] [3].



Fig. 5 – Exemplos de smart metros

Os medidores digitais devem estar em conformidade com o módulo 8 do PRODIST [4], e sua instalação facilitaria o monitoramento de tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, variações de tensão de curta duração, frequência dentre outros não somente visando o faturamento mas também ao que diz respeito a qualidade, condicionamento e estabilidade do sistema.

Redes Inteligentes e seus medidores inteligentes, possuem seus próprios protocolos, como os desenvolvidos pelo ANSI C12.22 e outros como IEC 61850, DNP3 (do inglês: *Distributed Network Protocol Version 3*).

II.3- Redes neurais aplicadas em Smart Grids

A topologia das redes de energia inteligentes (*smart grids*) é composta por diversos subgrupos e subsistemas, podendo estes serem interligados entre si através de protocolos de comunicação de dados padronizados pela IEC61850 [5], a qual estabelece diretrizes operacionais para automação de sistemas elétricos de energia e padroniza o encapsulamento dos dados em protocolo TCP/IP.

A norma IEC61850 define e padroniza o protocolo de comunicação TCP/IP para uso na automação de sistemas elétricos, por ser um protocolo rígido, bem definido e amplamente utilizado. Com ele, os sistemas inteligentes podem operar utilizando sistemas de comunicação como ethernet, LAN, WLAN, GPRS entre outros.

O conceito de *smart grid* vem da automação inteligente do sistema elétrico de potencia utilizando tecnologias CIT (Communication and Information Technology) para monitoramento, controle e medição do sistema juntamente com a introdução de sistemas de geração de energia distribuída pela rede, sistemas de armazenamento de energia elétrica e fontes de energia renováveis como a solar e a eólica [6]. Um modelo de *smart grid* é apresentado na Fig. 6.

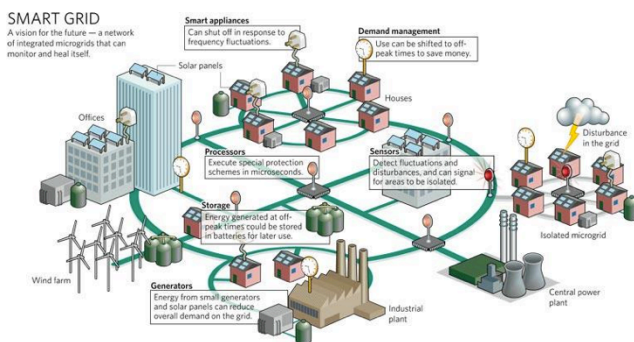


Fig. 6 – Modelo de um Smart Grid

Com o avanço da tecnologia e a constante expansão do sistema elétrico de potência, viu-se necessária a utilização de técnicas mais avançadas de controle e automação do sistema como um todo a fim de reduzir falhas, melhorar a qualidade da energia entregue aos clientes e aumentar a eficiência energética [7]. Com isso, começou a implantação de algoritmos matemáticos de redes neurais no controle automatizado e autônomo do sistema elétrico.

As redes neurais têm o papel fundamental de realizar decisões rápidas dada uma variação do sistema e também por monitorar em tempo real a situação do sistema para, por exemplo, realizar a previsão de falhas. Os algoritmos matemáticos que regem as redes neurais passam por uma fase de treinamento, onde são inseridos grandes pacotes de dados de medição do sistema de modo que a rede saiba tomar as melhores decisões no futuro.

Devido à inserção das redes neurais artificiais (RNAs) no controle e monitoramento do sistema elétrico de potência (SEP), surgiu um conceito de interoperabilidade dos subsistemas e subgrupos, tornando-os assim discretos e autônomos [8]. Portanto, o conceito de interoperabilidade permite que os mesmos operem em tempos simultâneos, trocando informações e coordenando atividades através dos cálculos de probabilidades e otimização das RNAs de cada subgrupo e subsistema. Consequentemente, há comunicação entre as partes inteligentes do sistema e, desse modo, ocorre a troca de informação em tempo real entre eles e a coordenação de suas respectivas ações.

Logo, a interconexão entre subgrupos e subsistemas inteligentes baseados em protocolos de comunicação de dados são governados por algoritmos matemáticos de redes neurais, sendo que estes utilizam dados de medições para realizar melhorias, previsões e correções de falhas.

A Fig. 7 apresenta uma topologia de intercomunicação aplicada entre subgrupos e subsistemas de um *smart grid*.

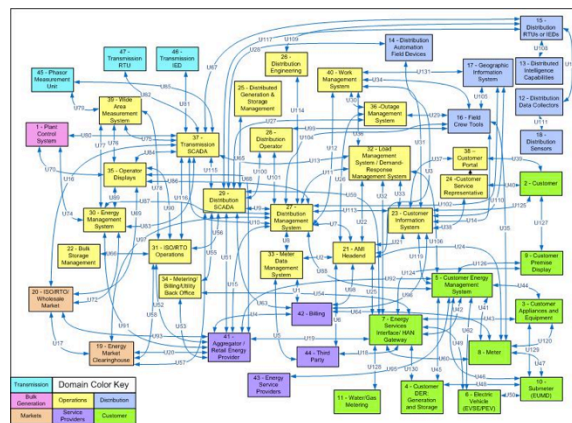


Fig. 7 – Topologia de intercomunicação entre subgrupos e subsistemas de um Smart Grid

III - VANTAGENS E DESVANTAGENS

A rede elétrica atual possui um formato fixo a mais de cem anos, contudo a demanda e o consumo aumentaram continuamente. Desse modo, a rede se transformou em algo complexo e sem ferramentas que automatizem o sistema para garantir uma energia com qualidade [9]. As consequências negativas desse engessamento do sistema elétrico de geração, distribuição e transmissão são inúmeras, sendo que os frequentes *blackouts*, problemas no armazenamento de energia, limitações no sistema de geração e falhas de equipamentos são os problemas mais notáveis no setor [9].

Como consequência da implementação dos *smart grids*, um novo mercado de energia elétrica surgirá uma vez que ela possibilitará uma maior competição por parte das concessionárias. Essa competição acarretará em melhorias contínuas no sistema de modo que essas mesmas concessionárias serão obrigadas a investir em pesquisas e tecnologias para que mantenham e forneçam seu produto, a energia elétrica, com um nível altíssimo de qualidade [10]. Nesse sentido, os benefícios dessa competição são [10]:

1. Confiabilidade:

As decisões de controle e proteção do sistema de energia elétrica serão mais inteligentes e com baixo nível de falha humana, já que o uso de tecnologias com sistemas em tempo real de medição, comunicação e controle serão utilizados. Os números de problemas citados anteriormente, como *blackouts*, podem ser minimizados.

2. Eficiência

A eficiência do sistema será atingida através da total integração do sistema de geração, transmissão e distribuição. Essa integração permitirá que geradores e sistema armazenadores de energia operem na sua eficiência ideal. Esse é o novo conceito de geração distribuída, ou seja, a carga, geradores e armazenadores poderão ser realocadas no sistema para que haja o mínimo de perdas no sistema.

3. Flexibilidade

A diversidade de operações que podem ser tomadas como o *smart grid* permitirá à quem controla o sistema uma

maior flexibilidade. Esta flexibilidade é decorrente da variedade da demanda, das várias formas de geração (hidroelétricas, eólica, nuclear, solar, entre outras) e pelas tecnologias instaladas.

4. Desenvolvimento sustentável

Pode ser dito que com a implantação das redes inteligentes haverá uma descarbonização do sistema elétrico de energia, isto é, ocorrerá uma diminuição das emissões de carbono provindos de combustíveis fósseis na atmosfera. Essa redução não virá somente do uso mínimo de usinas baseadas em combustíveis fósseis ou gases, mas pela troca de veículos com combustível baseado em petróleo pelos veículos elétricos. A partir do momento em que houver um controle maior do sistema de energia elétrica e tecnologias apropriadas, os veículos elétricos terão sua eficiência aumentada e poderão ser considerados como agentes do setor elétrico armazenando ou consumindo energia.

O maior controle das fontes renováveis e alternativas de energia também ajudará para que elas sejam incluídas no sistema mais facilmente, o que não ocorre na atual rede, em que encontram uma grande dificuldade para se integrarem.

Além das vantagens no sistema de transmissão e distribuição já apresentados, um dos maiores avanços tecnológicos que ocorrerá na implantação das redes inteligentes virá no ramo das telecomunicações. Trocas de informações em tempo real e com protocolos de segurança bem estabelecidos são considerados como fundamentos para que os *smart grids* funcionem e operem eficientemente [9] [11]. Redes de sensores e medidores inteligentes, dispositivos de proteção, automação e atuadores, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais, precisam estar todos conectados para que possa ser garantida uma alta qualidade na energia elétrica entregue aos consumidores finais. Considera-se que sem uma rede de telecomunicações robusta, a implementação do *smart grid* ficará limitada.

Embora sejam muitas as vantagens apresentadas pelas redes inteligentes, ainda há muito o que ser desenvolvido. As principais barreiras apresentadas para a implementação desse novo conceito atualmente são os custos das tecnologias existentes e a falta de adaptação das tecnologias existentes no mercado para o cenário de *smart grids* [10]. A padronização de um sistema de comunicação e protocolos utilizados pode também ser indicada como um grande desafio para a criação de dispositivos inteligentes. A pressão pelo desenvolvimento de tecnologias para esse novo panorama está gerando uma preocupação com relação a segurança dos equipamentos e do sistema de comunicação entre eles [9] [12]. Vulnerabilidades estão sendo detectadas e precisam ser corrigidas o quanto antes. Exemplos como ataques ao sistema de banco de dados ou até mesmo de operação das redes através de protocolos de comunicação podem ser citados. Um segundo exemplo mais drástico foi apresentado por Radasky [13], onde atualmente os equipamentos da rede elétrica que estão

sendo desenvolvidos para as redes inteligentes são vulneráveis a ataques de armas eletromagnéticas. A frequência desse tipo de ofensiva está aumentando e pode ser considerada um risco para o funcionamento das redes inteligentes, dado que esses ataques podem destruir equipamentos como medidores inteligentes, servidores e banco de dados.

IV – ASPECTOS DA QUALIDADE DE ENERGIA EM REDES INTELIGENTES

Nas discussões vigentes sobre smart grids, a qualidade da energia deve se tornar um aspecto importante e não pode ser negligenciada. Uma qualidade adequada garante a compatibilidade necessária a todos os equipamentos conectados à rede. Isto é portanto um ponto crítico para a operação eficiente tanto das redes atuais como das futuras. Entretanto, a qualidade da energia não deve constituir uma barreira contra o desenvolvimento das redes inteligentes ou a introdução de fontes renováveis de energia. Ao contrário, a parte inteligente das futuras redes devem ser acionadas em novas maneiras de se pensar a qualidade da energia. Especialmente em tecnologias modernas de comunicação que podem estabelecer novos níveis de seletividade na qualidade da energia.

A qualidade da energia é um resultado da interação entre a rede de energia e os equipamentos conectados conforme é mostrado na Fig.8:

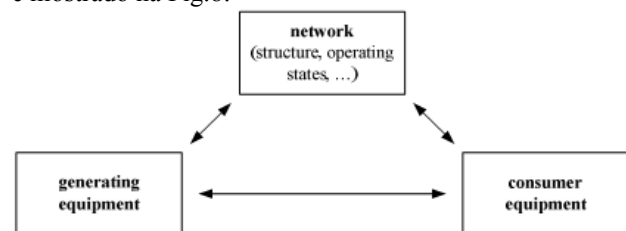


Fig. 8 Principais influências na QEE

Espera-se ver mudanças significativas em todas as três áreas em um futuro próximo. Isso significa que problemas de qualidade da energia também mudarão com o desenvolvimento de redes inteligentes. Os seguintes comentários dão exemplos dos possíveis desenvolvimentos em QEE:

a) Equipamentos de Geração

A introdução de microgeração distribuída (tipicamente definida como geração com menos de 16A por fase) em redes de baixa tensão é esperada de aumentar continuamente. Em instalações domésticas, elas serão em geral equipamentos monofásicos baseados em conversores estáticos com frequências na faixa de alguns kHz. Emissões em faixas de baixa frequência podem ser desprezadas, para efeitos gerais. As emissões mudam para uma faixa de maiores frequências, entre 2 e 9kHz, onde discussões são necessárias ao que tange a escolha de limites apropriados. Além disso, por serem monofásicos, esses equipamentos poderiam aumentar as componentes de sequência negativa e zero da rede de baixa tensão.

Em redes de distribuição com baixa capacidade, os limites atuais podem ser excedidos muito rapidamente. Reconsiderar os limites para sequência negativa e introduzir limites para a sequência negativa podem ser necessário.

b) Equipamentos dos Consumidores

A introdução de novas e mais eficientes tecnologias geram mudanças significativas no perfil de carga dos consumidores. Um exemplo com discussão ampla é a troca de lâmpadas incandescentes para modelos mais econômicos. Lâmpadas fluorescentes compactas substituem hoje as incandescentes, mas devem ser apenas um passo intermediário para as lâmpadas LED. Visto como carga elétrica, ambas substituem resistências por cargas retificadas. A componente fundamental da corrente é reduzida significativamente quando as componentes harmônicas sobem. Alta penetração, juntamente com coincidência de operação pode levar ao aumento de harmônicos de baixa ordem. Vários operadores de redes temem especialmente o aumento no quinto harmônico. Discussões vigentes tentam definir novos limites de emissão para essas lâmpadas compactas e o mesmo seria necessário para novos ou melhorados equipamentos (PVs, carregadores de bateria para carros elétricos, etc.). Como mencionado anteriormente porém, tais limites não devem caracterizar barreiras desnecessárias contra a introdução de novos equipamentos. Caminhos alternativos, como o aumento nos níveis aceitáveis de alguns harmônicos superiores deveriam, ao menos, ser considerados.

c) Rede de Distribuição

A potência de curto-circuito é um fator importante na administração da qualidade da energia. Sob maiores níveis de problemas na QEE, maiores potências de curto-circuito resultariam em maior qualidade da tensão. Hoje em dia, essa potência é definida predominantemente pela rede básica de geração e transmissão. No futuro, com a distribuição da geração, é possível que esse cenário mude bastante. Além do mais, a diminuição de cargas resistivas e aumento do cargas capacitivas afeta a estabilidade em sistemas de baixa tensão também. Frequências de ressonância do sistema devem mudar e devem ser consideradas.

Vários operadores de redes já propuseram que redes inteligentes devem incluir:

- Monitoração da rede para aumentar a confiabilidade,
- Monitoração de equipamentos para melhorar a manutenção,
- Monitoração da tensão para melhorar a QEE.

Objetivando essas metas, o sistema de distribuição atual (especialmente medidores e IED's controlados remotamente) devem ser usados para a obtenção de tantas informações quanto necessárias para melhorar a performance geral da distribuição.

Novas tecnologias associadas a redes inteligentes oferecem a oportunidade de melhoria da qualidade e confiabilidade bem como o atendimento aos clientes. Isso irá, por outro lado, aumentar os níveis de distúrbios em muitos casos e introduzir novos desafios. Porém, esses novos desafios não devem, de maneira alguma, constituir argumentos contra o desenvolvimento de redes inteligentes. Mas eles devem, certamente, atrair atenção para a importância da QEE para o sucesso da operação e confiabilidade das novas redes. Novas tecnologias demandam novas práticas e perspectivas de todas as partes envolvidas (operadores de rede, fabricantes, consumidores, reguladores, e outros).

V - EXEMPLOS DE SMART GRIDS NO BRASIL E NO MUNDO

V.1 – Contexto Nacional

Devido a diversas diferenças geográficas, carência de investimentos e uma grande necessidade de inovação tecnológica, a implantação de *smart grid* no Brasil requer diversas adaptações de modelos atualmente empregados em países de primeiro mundo.

O Brasil requer um consumo mais racional e eficiente da energia elétrica. Muitas vezes o nível de tensão entregue está abaixo do regulamentado ou então um problema na rede só é informado à distribuidora de energia pelo próprio consumidor [14]. Sendo assim, os principais motivadores para a implantação de redes inteligentes no Brasil são: redução de perdas não técnicas, melhoria da continuidade e eficiência energética.

Além de ser um projeto analisado por distribuidoras de energia elétrica, a implantação de *smart grid* no Brasil vem sendo analisada pelo Congresso Nacional, pela Agência Reguladora e por alguns ministérios. Alguns projetos de lei estão em discussão no Senado e, caso forem aprovados e convertidos em lei, haverá implantação compulsória em grande escala. Já o Ministério de Minas e Energia conduziu um grupo de estudos acerca de redes inteligentes mas não foram apresentadas propostas objetivas [15].

Apesar dos problemas com a regulamentação e implantação de redes inteligentes no Brasil, o grande foco no país é o desenvolvimento de projetos piloto nas chamadas cidades inteligentes. Tais projetos têm como base a realização de testes de interoperabilidade entre os medidores e os demais equipamentos da rede além de um sistema de supervisão e a interação com os consumidores.

O primeiro grande projeto de implementação de *smart grid* no Brasil foi desenvolvido pela Eletrobrás na cidade de Parintins, no Amazonas. O projeto teve início em 2011 com a implementação de um sistema inteligente de distribuição de energia. A cidade foi escolhida por possuir um sistema isolado de abastecimento, um consumo mensal de 25 MW e pela rede elétrica em boas condições. Inicialmente o município foi dividido em áreas para instalação de medidores digitais, que permitem o controle à distân-

cia sem a necessidade da presença de um leiturista no local. Também foram instalados equipamentos que evitam os desvios de energia gerando um sistema mais seguro e eficiente de energia [16] [17].

Um outro projeto foi desenvolvido pela CEMIG. A região escolhida é atendida pelas subestações Sete Lagoas 1, 2 e 3. Inicialmente, as instalações de infraestrutura de medição e automação estarão concentradas em Sete Lagoas, Santana de Pirapama, Santana do Riacho, Baldim, Prudente de Moraes, Funilândia e Jequitibá e pretende envolver uma população de 290.000 habitantes. Dessa maneira, a CEMIG pretende aplicar as tendências de redes inteligentes em instalações, geração distribuída e interface com os consumidores. O plano de ação pretende assegurar que os consumidores estejam envolvidos no projeto até que o mesmo seja concluído. Assim, está incluído no programa a participação do consumidor na hora da instalação dos medidores, a realização de workshops e a distribuição de folders explicativos [18].

A AES Eletropaulo também está desenvolvendo um projeto em Barueri, que pretende investir mais de R\$ 70 milhões até 2017 em benefício de cerca de 250 mil habitantes.

A cidade foi escolhida por representar uma região em ascensão e também por ser um local tanto com cargas comerciais e residenciais como industriais. Sendo assim, compõe uma amostra consistente para a distribuidora de energia. A instalação dos medidores inteligentes abrangerá inicialmente uma população de baixa renda que possui ligações irregulares. A ideia é levar a essas pessoas uma energia segura num novo padrão de distribuição. No visor do medidor digital o consumidor poderá verificar o consumo de energia elétrica e acompanhar, por exemplo, qual será o valor da fatura de energia.

Com o projeto, o Centro de Operação da AES Eletropaulo funcionará interligado ao Centro de Medição da distribuidora. Sendo assim, não será necessário, por exemplo, o cliente comunicar uma falta de energia. O problema será automaticamente detectado pela concessionária e tomará as devidas providências. Para isso, a distribuidora conta com a implantação de alguns softwares que analisam as informações, identificam a ocorrência e acompanham os resultados até o final. Futuramente, o projeto pretende ser expandido para todo comércio, indústria e residências de Barueri [19].

A cidade de Aparecida do Norte, em São Paulo, possui um projeto da EDP Bandeirante, distribuidora de energia elétrica do grupo EDP, em parceria com a prefeitura da cidade. Este projeto possui modernos equipamentos que permitem a monitoração do fornecimento de energia e a detecção de falhas de abastecimento antes que elas provoquem interrupções. Os medidores instalados nas casas se comunicam, via rádio, com concentradores fixados em postes conectados à internet por uma rede 3G de telefonia celular. Estes fazem o elo entre os consumidores e distribuidores de energia. Essa tecnologia permite aos consumidores produzirem sua própria energia, por exemplo painéis solares, e vender o excedente para a distribuidora [20].

A) Projeto Smart Grid UNIFEI

O conceito de *smart grid* está tão inserido na tecnologia atual que já é possível encontrar diversas de suas aplicações. Um exemplo prático de como funciona um projeto de *smart grid* encontra-se em desenvolvimento dentro da UNIFEI.

A ideia do projeto é poder integrar os diversos institutos da Universidade e utilizar os resultados dessa integração como um grande laboratório para estudos. A comunicação abrangerá inicialmente o CERIn, o ISEE/IESTI, o Excen, os laboratórios do IESTI e o LEPCH. Por interligar apenas alguns departamentos, o projeto é chamado de Micro Grid. Todo esse sistema de interligação estará conectado a uma rede de baixa tensão do campus da UNIFEI.

A geração se dará através de fontes renováveis. No prédio do CERIn serão instalados painéis fotovoltaicos, os quais já foram comprados e, no o prédio do ISEE/IESTI, a compra de alguns painéis está sendo providenciada. O prédio do Excen já conta com um sistema de geração distribuída instalado em suas dependências.

Em todos os departamentos interligados serão instalados medidores inteligentes através dos quais será possível monitorar a quantidade de energia elétrica que cada sistema produzir e, posteriormente, analisar os resultados obtidos através do compartilhamento dos dados. Essa energia produzida através dos recursos renováveis será capaz de suprir as necessidades energéticas de cada instituto.

Além dos medidores, será instalado um conjunto de armazenadores de energia como, por exemplo, as baterias. Assim, caso houver uma produção maior do que o consumo, a energia poderá ser armazenada para utilização futura ou consumida pelas demais cargas do campus.

Ficará instalado no CERIn toda a parte de supervisão destinado à capturar e armazenar em um banco de dados as informações obtidas através dos medidores

A ideia para o futuro é expandir todo esse sistema em todo o campus da UNIFEI.

V.2-Contexto mundial

Os países estão analisando diferentes formas de implementar o *smart grid* no mundo. Segue abaixo as diferentes iniciativas mundiais sobre este tema.

Países da União Europeia estão com projetos em *smart grid* e possuem meta de alcançar 20% de geração renovável até 2020. A Alemanha apresenta como característica do sistema elétrico 17% de energia renovável na matriz energética, política de desativação e substituição de usinas nucleares e forte potencial em energia eólica. Ela possui 6 diferentes projetos neste contexto. Já a Itália, tem como objetivo difundir o uso de carros elétricos, devido ao desenvolvimento das recargas por meio dos serviços inteligentes. O plano de ação está relacionado ao fornecimento de veículos elétricos a vários clientes e estações de recargas.

No Reino Unido, a meta é buscar opções de redução de custos com energia do consumidor, assim como as emis-

sões de carbono para os próximos anos e testar tecnologia sobre carregamento rápido e troca de bateria. A ação utilizada é o monitoramento de produtos e medidores inteligentes e fornecimento de diversos tipos de pontos para o carregamento do carro.

A matriz energética predominante de Portugal é composta por combustíveis fósseis, mediante isso, o país assinou o acordo de redução de 20% das emissões de gases até 2020. Logo, o termo *smart grid* será muito importante para ajudar o país atingir esses objetivos.

Nos países do continente americano também existem projetos sobre as redes inteligentes. Os Estados Unidos, por exemplo, possui uma matriz energética predominantemente composta por carvão e devido seu alto grau de poluição, este tende a diminuí-la. Diante disso o contexto de *smart grid* tem um papel importante. Alguns projetos estão sendo implantados nos Estados Unidos, tais como a melhoria da qualidade do serviço prestado ao consumidor e a redução de custos de operação e manutenção. Para isso, foi feita a troca ou atualização de milhares de medidores elétricos, a implementação de um novo sistema de cobranças e um programa de controle direto de carga. Há também um outro projeto relacionado à redução da demanda de pico, a diminuição do consumo de energia elétrica e à redução de custos de operação e de manutenção. Logo, foi preciso implantar medidores integrados a rede, instalação de equipamento para monitoramento e distribuição automatizada. Um terceiro projeto norte-americano está relacionado ao aumento da segurança do sistema, redução de gastos e redução da emissão de gases do efeito estufa. As ações utilizadas neste projeto foram: a instalação de infra-estrutura de medição avançada, novas tarifas e equipamentos para monitoramento avançado para o sistema de transmissão.

Em Ontário no Canadá, há a exigência de instalações de medidores eletrônicos em todas as empresas e residências. Já na Austrália houve um alto investimento em 2010 nas tecnologias de *smart grid* e cidades inteligentes.

No Japão, existem esforços para aumentar a eficiência energética, carros elétricos e difusão dos painéis fotovoltaicos, além da criação do projeto chamado de Smart Community.

VI - IMPACTOS ECONÔMICOS PROVIDOS PELA IMPLANTAÇÃO DE SMART GRIDS

Um importante relatório do Departamento de Energia dos EUA, de abril de 2013, mostra os valores investidos pelo governo americano desde 2009 no plano de recuperação da economia [21]. O plano de investimento proposto consiste principalmente na modernização do sistema elétrico e o desenvolvimento de novos equipamentos a serem utilizados para maior confiabilidade da rede. O relatório aponta que os US\$ 2.96 bilhões investidos produziram pelo menos US\$ 6.8 bilhões de retorno na economia americana como um todo, principalmente no desenvolvimento de equipamentos de alta tecnologia e consequente criação de vagas com alto nível de especialização requerida. Os impactos na economia podem ser agrupados em três categorias:

- Direto: são os impactos devido aos investimentos diretos. No caso, é o montante pago às indústrias centrais de desenvolvimento de tecnologias da *smart grid*.
- Indireto: impactos na economia devido a cadeia de fornecimentos de materiais e equipamentos para as companhias que receberam investimentos diretos.
- Induzidos: impactos na economia que englobam o aumento do consumo dos cidadãos que foram direta ou indiretamente beneficiados pelos investimentos iniciais.

Assim, o impacto total na economia é calculado como a soma das três componentes expostas anteriormente. A Fig. 8 mostra a divisão dos efeitos na economia americana devido a esses plano de investimentos.

O investimento foi responsável pela criação direta de 33.000 vagas somente nas indústrias especializadas em *smart grids*, as quais receberam investimentos diretos, resultando no pagamento de US\$ 2.07 bilhões de salários no período. Se levados em conta os empregos indiretos, o total chega a 47.000, com US\$ 2.86 bilhões de salários.



Fig. 9 – Impactos na economia devido ao investimento em Smart Grids

Infelizmente, por envolver assuntos financeiros, é difícil encontrar dados sobre o real impacto do investimento e implantação de *smart grids* na economia local. É sabido que a AES Eletropaulo possui um programa piloto em Barueri/SP e a CEMIG em Sete Lagoas/MG, como já citado anteriormente. Porém, nenhum relatório sobre os efeitos na economia foi elaborado. Ainda assim, é esperado que o investimento nas redes inteligentes demandem profissionais especializados na área, exigindo por sua vez cursos preparatórios no assunto.

VII. CONCLUSÃO

Smart grids são uma tendência de mercado devido a vantagens em diversas áreas e aplicações com uma potencial capacidade de otimização e integração do sistema elétrico. As quantidades de vantagens em relação ao modelo atual de geração, transmissão e distribuição de energia

elétrica desse novo conceito são inúmeras, contudo desvantagens ainda existem. Tais desvantagens ocorrem devido ao alto custo das tecnologias existentes e, principalmente, no âmbito da regulamentação deste novo cenário que está surgindo.

Desse modo, os esforços para que se construa uma rede elétrica inteligente ainda são enormes. Muito há o que ser pesquisado e atualizado para seja implementado essas novas filosofias. No Brasil, iniciativas, como a da AES Eletropaulo, CEMIG e da própria universidade UNIFEI, tentam investigar o impacto do *smart grid* no país, embora não exista incentivos governamentais, como é encontrado, por exemplo, nos Estados Unidos.

VIII - AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Dr. José Maria pela oportunidade de estudar e apresentar o trabalho nas formas de artigo e apresentação, também aos alunos pela paciência e informações valiosas compartilhadas em sala de aula.

IX. REFERÊNCIAS

- [1] PETEBEL, F.; PANAZIO, C. **Análise de uma Rede Smart Grid Usando a Norma IEC61850 e Dados de Medições**. São Paulo: [s.n.], 2014.
- [2] GRIJALVA, S.; TARIQ, M. U. **Prosumer-Based Smart Grid Architecture Enables a Flat, Sustainable Electricity Industry**. Hilton Anaheim: Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2011. 6 p. E-ISBN:978-1-61284-219-6.
- [3] LAMPROPOULOS, I.; VANALME, G. M. A.; KLING, W. L. **A methodology for modeling the behavior of electricity prosumers within the smart grid**. Gothenburg: Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES, 8 p. E-ISBN: 978-1-4244-8509-3.
- [4] ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. [S.l.]: [s.n.], 2010. Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica.
- [5] SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **Capítulo VII Redes de comunicação em subestações de energia elétrica – Norma IEC 61850**. [S.l.]: O Setor Elétrico, 2010.
- [6] SANTOS, J. J. S. et al. **REDES INTELIGENTES: ALGORITMO DE TOMADA DE DECISÃO NA RECONFIGURAÇÃO ÓTIMA DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR EVOLUÇÃO DIFERENCIAL DISCRETA**. Belo Horizonte: Anais do X Simpósio de Mecânica Computacional, 2012.
- [7] SILVA, F. J. D. S. E. **Sistemas Distribuídos: Conceitos e Projeto Caracterização de Sistemas Distribuídos**. [S.l.]: [s.n.], 2013. url: <http://www.deinf.ufma.br/~fssilva/graduacao/sd/aula/s/caracterizacao.pdf>.
- [8] STIEVEN, J. F. D. **REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS APLICADAS À LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO RURAL**. [S.l.]: UFSC. url: <http://pt.slideshare.net/jfelipedalcin/redes-neurais-artificiais-aplicadas-localizacao-de-faltas-em-redes-de-distribuio-rural>.
- [9] GÜNGÖR, V. C. et al. **Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards**. Istanbul: Industrial Informatics, IEEE Transactions, v. 7, 2011. 529-539 p. Issue: 4.
- [10] HAMIDI, V.; SMITH, K. S.; WILSON, R. C. **Smart Grid Technology Review within the Transmission and Distribution Sector**. Gothenburg: Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010. 8 p. E-ISBN: 978-1-4244-8509-3.
- [11] WANG, W.; XU, Y.; KHANNA, M. **A survey on the communication architectures in smart grid**. Raleigh: Computer Networks, v. 55, 2011. 3604–3629 p. Issue:15.
- [12] SLOOTWEG, H.; ENEXIS, B. V. **Smart Grids - the future or fantasy?** London: IET Seminar on Smart Metering 2009: Making it Happen, 2009. ISBN: 978 1 84919 089 3.
- [13] RADASKI, W. **Fear of frying electromagnetic weapons threaten our data networks. Here's how to stop them**. [S.l.]: Spectrum, IEEE, v. 51, 2014. 46-51 p.
- [14] PAULI, A. A. **SMART GRID: O MODELO BRASILEIRO**. Brasília: [s.n.].
- [15] LAMIN, H. **ANÁLISE DE IMPACTO REGULATÓRIO DA IMPLANTAÇÃO DE REDES INTELIGENTES NO BRASIL**. Brasília: PPGENE.TD - 076/13, 2013.
- [16] REVISTA AUTOMATIZAR. **Revista Automatizar. As perspectivas do smart grid no país com as primeiras cidades inteligentes**. Disponível em: <<http://www.revistaautomatizar.com.br/noticias/2012/agosto/smart.html>>. Acesso em: 28 Outubro 2014.
- [17] REDE INTELIGENTE. **Rede Inteligente. Projeto Parintins ganha prêmio nacional**. Disponível em: <<http://www.redeinteligente.com/2014/02/28/projeto-parintins-ganha-premio-nacional/>>. Acesso em: 28 Outubro 2014.
- [18] CEMIG. **REDES INTELIGENTES NA CEMIG - PROJETO CIDADES DO FUTURO**. [S.l.]: [s.n.]. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig_e_o_futuro/sustentabilidade/nossos_programas/redes_inteligentes/paginas/as_redes_inteligentes_na_cemig.aspx>. url: http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig_e_o_futuro/sustentabilidade/nossos_pro

gramas/redes_inteligentes/paginas/as_redes_inteligentes_na_cemig.aspx.

- [19] AES ELETROPAULO. **AES Eletropaulo anuncia o maior projeto de Smart Grid do país.** [S.l.]: [s.n.].
<https://www.aeseletropaulo.com.br/imprensa/nossos-releases/conteudo/aes-eletropaulo-anuncia-o-maior-projeto-de-smart-grid-do-pais>.
- [20] GLOBO NEWS. G1. **Brasil começa a investir em redes inteligentes de energia elétrica**, 1 Novembro 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/globo-news/noticia/2012/11/brasil-comeca-investir-em-redes-inteligentes-de-energia-eletrica.html>>. Acesso em: 2014 Outubro 2014.
- [21] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Economic Impact of Recovery Act Investments in the Smart Grid.** [S.l.]: American Recovery and Reinvestment Act of 2009, 2013.
- [22] LOPES, Y. et al. **Smart Grid e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico.** Brasília: XXX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES - SBrT 12, 2012.
- [23] GUIMARAES, P. H. V. et al. **Comunicação em Redes Elétricas Inteligentes: Eficiência, Confiabilidades, Segurança e Escalabilidade.** [S.l.]: [s.n.].
- [24] BOLLEN, M. H. J. et al. **Power quality aspects of smart grids.** Hong Kong: The International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10), Granada, Spain, 23-25 March 2010, 2012.
- [25] ALCÂNTARA, M. V. P. **Capítulo II Desafios tecnológicos e regulatórios em rede inteligente no Brasil.** [S.l.]: [s.n.], 48-58 p.