



## INTRODUÇÃO DO CONCEITO DE REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES NO CURRÍCULO DO ENGENHEIRO ELETRICISTA BRASILEIRO

**Paulo Márcio da Silveira** – pmsilveira@unifei.edu.br  
Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Sistemas Elétricos e Energia  
Av. BPS, 1303  
37500901– Itajubá – MG

**Paulo Fernando Ribeiro** – p.f.ribeiro@tue.nl  
Technische Universiteit Eindhoven, Electrical Energy Systems  
Den Dolech 2, 5612 AZ  
5600 MB Eindhoven – Holanda

**Resumo:** *Este artigo mostra a importância de se introduzir no currículo do engenheiro eletricista os conceitos fundamentais sobre smart grid ou redes elétricas inteligentes. Este assunto tem sido tema de debates mundiais, em seus diversos aspectos, incluindo a formação acadêmica. Além disso, as redes elétricas inteligentes vêm se tornando uma realidade em muitos países desenvolvidos (EUA, Japão, Alemanha) com a implantação de amplos projetos pilotos, bem como a implantação de ações de melhorias em suas redes de distribuição. No Brasil já existe uma grande preocupação com o tema, bem como ações por parte das agências reguladoras e fiscalizadoras (ANEEL, ONS) e empresas do setor elétrico para avançarem na questão. O Instituto de Sistemas Elétricos e Energia, uma das Unidades Acadêmicas da Universidade Federal de Itajubá, vem somando esforços para focar o assunto em seus diversos trabalhos no campo da pesquisa e da formação acadêmica, contando com o apoio de seus grupos de trabalho e dos cursos já existentes na Universidade.*

**Palavras-chave:** *Formação acadêmica, Redes elétricas, Smart grid, Redes elétricas do futuro.*

### 1. INTRODUÇÃO

As redes elétricas inteligentes do futuro vão necessitar de engenheiros com uma educação e treinamento muito mais abrangente e conhecimento de uma maior diversidade de disciplinas. As mudanças estruturais e tecnológicas já implementadas irão demandar uma educação acadêmica com grande ênfase nos conceitos fundamentais da operação de sistemas elétricos, mas também que inclua tópicos tais como: comunicações, processamento de sinais, fontes alternativas, mercado de energia, outros.

Este assunto tem sido tema de debates mundiais, em seus diversos aspectos, incluindo a formação acadêmica. Além disso, as redes elétricas inteligentes vêm se tornando uma

Realização:



Organização:





realidade em muitos países desenvolvidos (EUA, Japão, Alemanha) com a implantação de amplos projetos pilotos, bem como ações de melhorias em suas redes de distribuição (IEEE, 2012). No Brasil já existe uma grande preocupação com as questões relacionadas ao tema, o que inclui ações por parte das agências reguladoras e fiscalizadoras, a exemplo da ANEEL que abre caminho para a substituição de 67 milhões de medidores convencionais de energia elétrica por medidores inteligentes ou *smart meters* (SETTI, 2012).

## 2. A QUESTÃO ENERGÉTICA

No mundo inteiro universidades, centros de pesquisa, empresas, ONGs, governo e sociedade tem se preocupado com a questão energética. A área de energia é muito ampla, pois envolve diversos aspectos que inclui o saber em engenharia elétrica, mecânica, ambiental, transporte, gás, petróleo e tantas outras áreas que se correlacionam com as formas primárias de energia.

Especificamente sobre a energia elétrica, a grande maioria das fontes primárias no mundo são fontes não renováveis como o petróleo, o gás, o carvão e o urânio, conforme “Figura 1”. Os valores percentuais dizem respeito ao consumo nos Estados Unidos (ELECTRIC POWER MONTHLY, 2012).

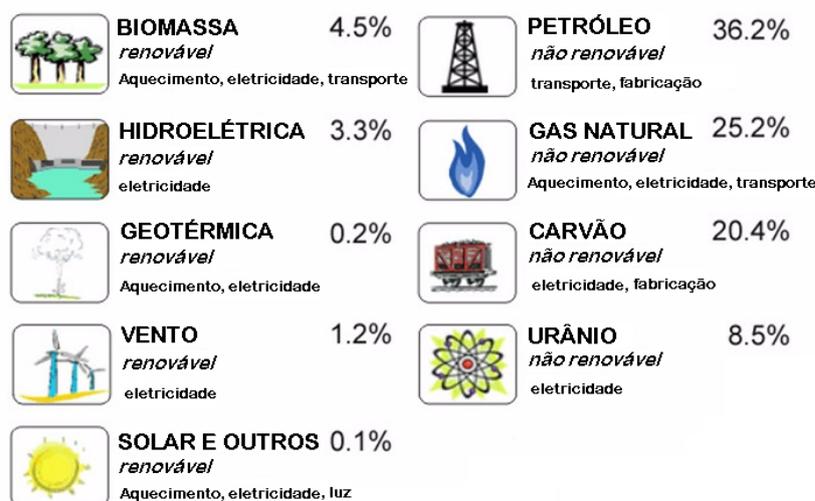


Figura 1 – Fontes de Energia no mundo  
(Fonte: Electric Power Monthly)

Principalmente o carvão e o gás natural são grandes emissores de gases causadores do efeito estufa, durante o processo de geração de energia elétrica. Atualmente as termoelétricas a carvão respondem por mais de 40% da produção mundial de energia e as movidas a gás ocupam o segundo lugar na lista, com cerca de 20%. Entre os dois, o carvão é mais barato, porém polui mais. Além de emitir mais gás carbônico, responsável pelo aquecimento global, causa poluição local, emitindo substâncias como enxofre e óxido nítrico, que afetam a respiração. Hoje em dia, há filtros capazes de reduzir esses efeitos, mas eles encarecem a construção das usinas.

A “Figura 2” apresenta a capacidade de geração de energia elétrica instalada no mundo em 2008 (EIA, 2012). Observa-se a enorme porcentagem das termoelétricas, cujas fontes



primárias podem ser o carvão (mineral ou vegetal) o gás natural e até mesmo o óleo diesel. Consta-se também 8% de energia nuclear, com a utilização do urânio ou outro componente radioativo como fonte primária. Embora a emissão de gases poluidores seja praticamente inexistente, a produção de rejeitos radioativos é um problema, além dos riscos de acidentes, cujos eventos históricos recentes vêm fazendo com que países desenvolvidos repensem totalmente suas políticas de geração de energia elétrica com fonte nuclear. É o caso do Japão e da Alemanha que decidiram abolir a energia nuclear de suas matrizes energéticas.

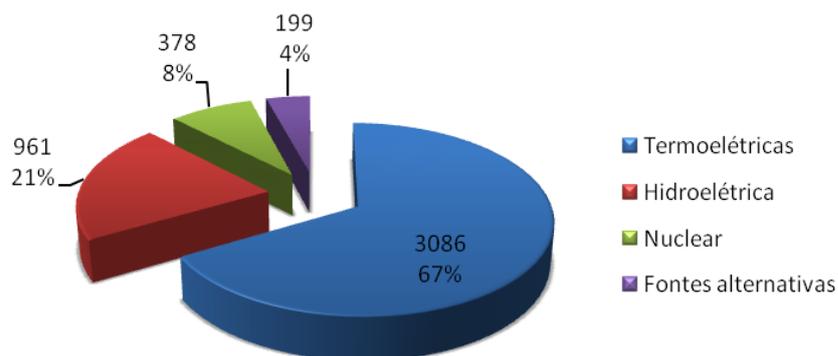


Figura 2 – Potência Instalada no mundo (GW) e as formas de geração da energia elétrica (Fonte: EIA, 2012)

Especificamente no Brasil, a grande maioria da geração de energia elétrica vem de fontes renováveis, pois não se pode esquecer que o Brasil tem grande potencial hidráulico, enquanto que o uso das fontes alternativas (também renováveis) ainda representa um percentual pequeno. A “Figura 3” ilustra a questão no Brasil, dados 2011 (ANEEL, 2012).

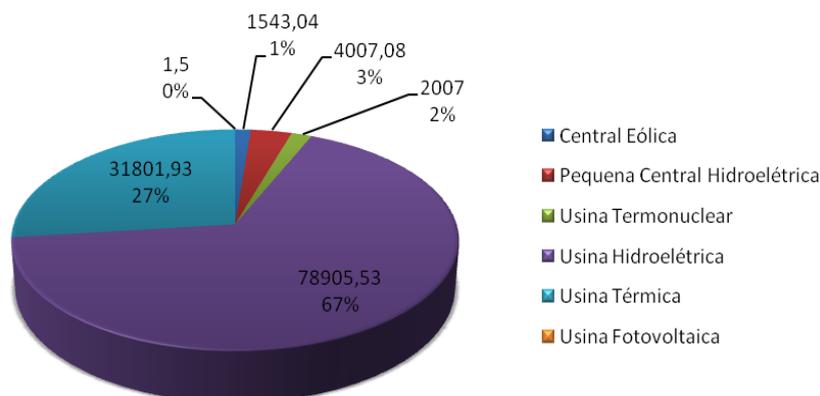


Figura 3 – Potência Instalada no Brasil (MW) e as fontes primárias de energia (Fonte: ANEEL, 2012)

Cabe mencionar que o mundo chama de fontes renováveis o vento, o sol, as marés, o biocombustível, outros. Entretanto, a água enquanto em abundância, e se conservada, também é fonte renovável, razão pela qual as fontes: eólica, solar, biomassa, maré, geotérmica, outras, são normalmente denominadas de fontes alternativas de geração de energia elétrica, enquanto



em outros países, cuja geração hidroelétrica é pequena, são todas chamadas de fontes renováveis.

Nos últimos anos o mundo inteiro vive a busca por geração de energia elétrica mais limpa, como a utilização principalmente do vento e do sol. A “Figura 4” dá uma ideia destas fontes primárias e sua tendência futura no mundo, de acordo com o *German Advisory Council on Global Change* (WBGU, 2012).

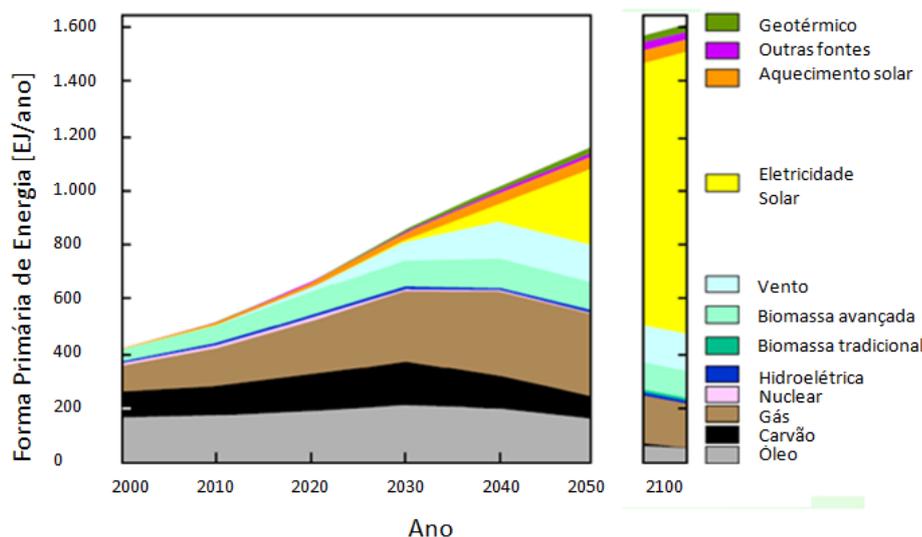


Figura 4 – Fonte primária de energia desejada como ideal até o próximo século.  
(Fonte: WBGU, 2012)

### 3. O USO INTELIGENTE DAS COISAS OU AS COISAS INTELIGENTES

Além de toda questão energética, os cientistas e pesquisadores de universidades, centros de pesquisa e empresas estão preocupados em desenvolver tecnologias mais inteligentes nas diversas áreas de impacto para a sociedade. Alguns poucos exemplos podem ser citados: (i) na medicina as imensas possibilidades do uso da nanotecnologia, consistindo no uso de nanopartículas, nanorobôs e outros elementos em escala nanométrica para curar, diagnosticar ou prevenir doenças; (ii) na área de transporte, o desenvolvimento Intelligent Transport Systems (ITS), que consiste na aplicação de tecnologias inovadoras para coletar mais e melhores dados, analisá-los de forma mais rápida e inteligente, e conectá-los através de redes de transporte mais eficientes para ações e decisões mais ágeis e eficazes. Além do projeto de carros, aviões, trens, navios, etc., mais seguros, usando tecnologias de sensores de condições externas, GPS, novos materiais, etc.; (iii) na comunicação e na computação ocorre a utilização de tecnologia global usando conceitos de transferência de dados: voz, imagem e texto cada vez mais eficientes, dando lugar aos *Smart Gadgets* – *tablets*, *smartphones*, *ultrabooks*, outros; (iv) até mesmo na moda já se fala em tecidos inteligentes que mudam de cor ou aspectos, dependendo das horas do dia ou das emoções de quem as veste; (v) finalmente não se deve omitir a ideia dos *smart appliances* e a internet das coisas.

Especificamente na área de energia elétrica (geração, transmissão, distribuição e consumo) o mundo todo iniciou uma corrida em busca das chamadas *Smart Grids* ou redes elétricas inteligentes.



#### 4. SMART GRIDS

O conceito de redes elétricas inteligentes combina questões de tecnologia, soluções para o cliente final/ consumidor e aborda uma série de políticas e assuntos de regulamentação.

Embora ainda não exista uma simples e clara definição do assunto, várias tentativas são encontradas na literatura. Uma destas definições (EKANAYAKE et al, 2012) diz o seguinte: “*A smart grid uses sensing, embedded processing and digital communications to enable the electricity grid to be observable (able to be measured and visualized), controllable (able to be manipulated and optimized), automated (able to adapt and self-heal), fully integrated (fully interoperable with existing systems and with the capacity to incorporate a diverse set of energy sources)*”.

Mas antes de tudo uma rede elétrica inteligente pode ser encarada como uma visão. E para ser completa, tal visão deve ser expressa em várias perspectivas: suas tecnologias, suas características e seus valores.

A ideia básica por trás de uma *smart grid* é que, principalmente, nas redes de distribuição de energia elétrica possam existir: (i) maior eficiência energética; (ii) menores perdas técnicas e não-técnicas; (iv) maior confiabilidade; (v) maior segurança; (vi) maior interação do próprio consumidor; (vii) além de ser ambientalmente amigável.

Uma rede elétrica inteligente deve envolver necessariamente um sistema de comunicação de dados associado com todos os aspectos da geração, do transporte (transmissão e distribuição) e do consumo da energia elétrica. Neste caso, as edificações residenciais, comerciais e industriais deverão ter instalados os chamados medidores inteligentes (*Smart Meters*), os quais possam não apenas medir o consumo da energia, mas também estar em permanente comunicação bidirecional com as centrais de supervisão das companhias, enviando os dados de consumo e de eventos gerais que acontecem na rede local, bem como recebendo informações da concessionária. Estes medidores permitirão também uma interação com o próprio consumidor de modo a lhe informar custos, tarifação diferenciada, metas e tendências de consumo, cortes de carga, etc.

Uma rede inteligente deve ser capaz ainda de se auto reestabelecer, provendo alta qualidade da energia entregue, sem interrupções, aos consumidores.

Estas redes terão necessariamente o uso integrado de fontes renováveis, principalmente a solar e a eólica, ou seja, sítios com painéis fotovoltaicos e/ou geradores eólicos, ligados muitas vezes às próprias redes convencionais com a geração convencional. Estas fontes, associadas ainda às fontes convencionais estarão cada vez mais próximas da carga, o que em muitos casos são denominadas de geração própria ou Geração Distribuída (GD). Até mesmo uma residência dita inteligente (*Smart House*), deverá ter seu próprio painel fotovoltaico e/ou seu “catavento”, gerando energia para seu consumo próprio, incluindo o carregamento das baterias de veículos elétricos ou *plug-in* híbridos. Muitas vezes esta geração própria poderá ser maior que o consumo próprio, permitindo assim que o consumidor faça o armazenamento da energia excedente em baterias ou então comercialize a energia com a concessionária administradora local.

Será comum que as fazendas eólicas e/ou fotovoltaicas estejam também associadas a sistemas de armazenamento de energia (p.ex. baterias) que, além do armazenamento em si, servirão como elementos de regulação dos sinais de tensão de fornecimento. Tais baterias estarão associadas a eficientes sistemas de controle que deverão considerar as flutuações existentes ao longo dos dias, tanto da fonte solar quando do vento (aumento e diminuição ao longo do dia em função das condições climáticas).



Cabe ainda mencionar que uma rede inteligente não se limita exclusivamente à rede de distribuição e aos consumidores da mesma, mas se estende também à transmissão. Porém, enquanto as mudanças na rede de distribuição serão revolucionárias, a transmissão mudará de modo evolucionário, envolvendo avançados sistemas de proteção e controle adaptativos, utilização mais intensiva das unidades de Medição Fasorial Sincronizadas, estimação e medição de estados precisos dos sistemas interconectados, técnicas inteligentes de visualização das redes, etc.

É fato que a engenharia está mais que interessada nesta evolução, não significando que o termo *smart grid* deixa para trás tudo o que já foi inventado ou construído em termos de redes elétricas, como se fosse uma *stupid grid*. Esta ruptura não deverá existir, pelo menos por enquanto. Entretanto, devemos todos nos preparar para esta rede do futuro, cujos sinais já se fazem presentes mesmos nas redes convencionais, ou seja: a presença de (i) dispositivos eletrônicos inteligentes fazendo supervisão, controle, proteção e medição; (ii) equipamentos sofisticados (geradores, transformadores, transmissões AC flexíveis – FACTS, etc.) e (iii) a rede de comunicação de dados.

Redes elétricas modernas e futuras podem ser classificadas com sendo de grande complexidade tendo em vistas as muitas variáveis que envolvem não apenas a parte técnica, mas também comportamentos dinâmicos sociais. Um panorama geral da complexidade da rede inteligente do futuro está representado na “Figura 5”, na qual três fontes de complexidade estão devidamente identificadas: *Stakeholders*, tecnologias e dimensões.

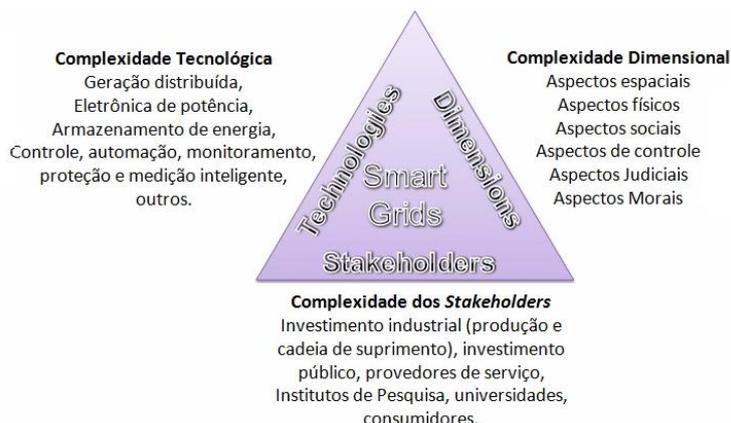


Figura 5 – Representação Geral da Complexidade Global de uma Rede Inteligente

## 5. EDUCAÇÃO ABORDANDO *SMART GRIDS*

A operação e o gerenciamento dos sistemas de energia elétrica, compreendendo a geração, a transmissão e a distribuição estão mudando devido aos avanços tecnológicos, principalmente relacionados aos assuntos como: fontes de energia renováveis (alternativas), geração distribuída (GD), *microgrids*, armazenamento de energia, gerenciamento da energia.

Desse modo, uma rede elétrica inteligente irá requerer engenheiros e profissionais com uma formação diferenciada em relação às forças de trabalho qualificadas existentes atualmente. Além dos aspectos tecnológicos os engenheiros irão necessitar de estudar gerenciamento de dados, protocolos de comunicação, otimização dos ativos, dentre outros. Uma rede inteligente dependerá também da ampliação dos esforços na formação (graduandos



e pós-graduandos) e na pesquisa envolvendo *cyber security*, estabilidade dinâmica, novas formas de proteção elétrica, técnicas de inteligência computacional e ferramentas de tomadas de decisão.

Levando em consideração estas e outras questões, a criação de um currículo para o engenheiro electricista incluindo a rede elétrica do futuro é algo vital e inevitável para os próximos anos. Novas áreas de estudo e novos caminhos de desenvolvimento profissional precisam ser criados ou introduzidos na grade curricular já nos próximos anos visando esta formação mais ampla do engenheiro electricista. Vários artigos sobre o assunto já podem ser encontrados em conferências internacionais e periódicos (AMIN & WOLLENBERG, 2005), (ALBU ET AL, 2010), (KEZUNOVIC, 2010), (REED & STANCHINA, 2010), (SAUER, 2010), (SCHULZ, 2011), (SHAHIDEHPOUR & ZUYI, 2010), (VENAYAGAMOORTHY, 2010). Considerando que *smart grid* pode ser pensada como um assunto multidisciplinar, o desenvolvimento de esquemas educacionais para tal fim irá requerer habilidades e tecnologias além das tradicionais usadas em nossas formações. A disponibilização de infraestrutura para facilitar a oferta de cursos como o desenvolvimento de bancos de dados de informação baseados na web, experimentos laboratoriais interativos e a distância e cooperação internacional para troca de experiências serão de suma importância dentro deste contexto.

Para os fundamentos de uma rede elétrica inteligente dever-se-á incluir discussões para definições, arquiteturas, métricas de desempenho, ferramentas de suporte à decisão e novas fontes de energia. Os projetos destas redes deverão atravessar os limites do conhecimento em comunicação de dados, técnicas de otimização, operação e recuperação dinâmicas e adaptativas, controle, mercado, restrições ambientais e sociais.

Sabe-se que os cursos convencionais de engenharia elétrica são direcionados para o desenvolvimento dos engenheiros em trabalhos relacionados à operação de sistemas elétricos de potência e/ou industriais, os quais envolvem planejamento, supervisão e execução de projetos nas áreas de eletrotécnica, relacionadas à energia elétrica. As universidades que possuem bons cursos nesta área conseguem preparar o profissional para que o mesmo esteja habilitado também a planejar, construir e operar sistemas de geração, transmissão, e distribuição em concessionárias. Além disso, também devem estar preparados para atuarem com automação e controle em linhas de produção industrial, no desenvolvimento de componentes eletroeletrônicos, na operação e manutenção de equipamentos em hospitais e clínicas e em projetos de instalações elétricas industriais, comerciais e residenciais. Além das concessionárias de energia, o graduado encontra emprego em indústrias de equipamentos, automação, fábricas de motores e geradores, consultorias ou em empresas prestadoras de serviços em computação.

Deste modo, o engenheiro electricista passa por uma formação abrangente o que requer desde o conhecimento básico de circuitos elétricos, passando pelos conhecimentos necessários para a operação das redes elétricas, até os aspectos de confiabilidade, eficiência energética e economia. De certo modo, o atual currículo de muitos cursos de engenharia elétrica, sobretudo aqueles voltados para sistemas de potência, permitem a introdução da teoria e da prática de questões mais voltadas às *smart grids* envolvendo, além das disciplinas tradicionais, também conhecimentos em: (i) fontes alternativas (renováveis); (ii) novas cargas especiais (veículos elétricos); (iii) aplicações das tecnologias de informação e comunicação (TICs); (iv) novos sensores e processamento digital de sinais; (v) novos conceitos de proteção de sistemas elétricos; (vi) avaliação de riscos e confiabilidade; (vii) HVDC e sistemas de transmissão AC flexíveis (FACTS); (viii) utilização e gerenciamento da energia pelo lado da



demanda; (ix) análise econômica; mercado de energia; (x) planejamento e eficiência energética; (xi) questões políticas e ambientais.

Assim, entre o currículo atual e o currículo que contemple uma formação global em redes elétricas inteligentes, deverá existir a introdução dos tópicos citados anteriormente como elementos desejáveis. O fato é que existem alguns caminhos, dependendo do enfoque do curso, da necessidade, do tempo de formação e do perfil desejado para o engenheiro eletricitista. Poder-se-ia pensar na introdução de uma disciplina de ‘redes elétricas inteligentes’ nos últimos anos de formação, o que seria o mais simples dos casos. Entretanto, isto ficaria apenas limitado a uma visão global e superficial do tema. Uma formação mais ampla iria necessitar de razoável reformulação de grade contemplando diferentes assuntos ao longo da formação do engenheiro de redes elétricas inteligentes.

Um modelo de curso, que serviria para uma disciplina bem condensada ou em várias outras, dependendo do enfoque, da necessidade e da profundidade, deve necessariamente conter:

- (1) Introdução (USA DOE, 2007; HERTZOG, 2009)
  - a. O que é *smart grid*.
  - b. Definições e termos associados.
  - c. Funções de uma rede inteligente.
- (2) Arquitetura (SOREBO & ECHOLS, 2012), (CHAKRABORTTY & ILIC, 2012), (EKANAYAKE et Al, 2012); (KEYHANI, 2011), (HADJASAÏD & SABONNADIÈRE, 2012)
  - a. Componentes e arquitetura de uma de uma rede elétrica inteligente, o que inclui: automação da transmissão, coordenação de sistemas, operação de sistemas, qualidade da energia, proteção elétrica, automação da distribuição, integração de fontes renováveis, eficiência energética, geração distribuída, *microgrids*, armazenamento de energia, veículos elétricos, *smart appliances*.
- (3) Funções (EKANAYAKE et Al, 2012), (HADJASAÏD & SABONNADIÈRE, 2012)
  - a. Modelos, projetos e operação dos componentes: geração, transmissão, distribuição e carga (uso final).
- (4) Ferramentas e técnicas (MOMOH, 2012), (EKANAYAKE et Al, 2012)
  - a. Técnicas computacionais.
  - b. Técnicas de inteligência artificial (IA).
  - c. Técnicas de processamento de sinais.
  - d. Introdução às tecnologias: comunicação, sensoriamento, medidores (*smart meters*), fontes renováveis.
- (5) Projetos (CHAKRABORTTY & ILIC, 2012), (HADJASAÏD & SABONNADIÈRE, 2012)
  - a. Seleção de critérios, ferramentas e técnicas.
  - b. Técnicas de controle e otimização avançada.
  - c. Automação em nível de geração, transmissão e distribuição e carga.
- (6) Tópicos (SIOSHANSI, 2012), (GELLINGS, 2009), (BERGER & INIEWSKI, 2012)
  - a. Tecnologias de armazenamento.
  - b. Veículos elétricos e *plug-ins* híbridos.
  - c. Impactos ambientais e mudanças climáticas.



d. Economia e mercado de energia.

(7) Tecnologias de comunicação (BERGER & INIEWSKI, 2012), (FLICK & MOREHOUSE, 2011)

- a. Topologias de rede.
- b. Sistema de gerenciamento de Acesso à Web (WAMS).
- c. Infraestrutura avançada de medição (AMI).

(8) Normas, Interoperabilidade e Segurança cibernética (BERGER & INIEWSKI, 2012), (FLICK & MOREHOUSE, 2011).

(9) Estudo de casos (SIOSHANSI, 2012), (BERGER & INIEWSKI, 2012).

Nota: Os livros citados, dentre vários outros, podem servir como bibliografia básica sobre o assunto.

## 6. QUESTÕES PRÁTICAS

A Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI é uma Instituição centenária e possui dois tradicionais cursos de engenharia: Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica, os quais formam também a base de formação das grandes questões energéticas de uma sociedade. Além disso, a UNIFEI possui ainda diversos outros cursos, dentre os quais, para o contexto analisado, deve-se mencionar: (i) Engenharia de Controle e Automação e (ii) Engenharia de Computação, cursos estes abrigados no Instituto de Engenharia de Sistemas e Tecnologia da Informação (IESTI), o qual possui também especialistas em telecomunicações; (iii) Engenharia de Energia, com grande envolvimento do Instituto de Engenharia Mecânica (IEM) e participação do Instituto de Sistemas Elétricos e Energia (ISEE) e, por fim, (iv) Engenharia Ambiental, abrigado no Instituto de Recursos Naturais.

Especificamente no Curso de Engenharia Elétrica, abrigado no ISEE, trabalhos vêm sendo realizados de modo a implantar questões focadas nas redes elétricas do futuro.

Dentro destes novos paradigmas, o ISEE tem trabalhado na ótica de incentivar a atuação de seus grupos de pesquisa (indissolúvel da formação) para que haja mais investigações e inovações em diversos campos incluindo a forte vertente em redes elétricas inteligentes.

O Instituto de Sistemas Elétricos e Energia na UNIFEI conta com vários grupos consolidados, a saber:

- I. Grupo de Estudos Energéticos (GEE): este grupo gerencia o Centro de Excelência em Eficiência Energética (EXCEN), que realiza estudos, pesquisas e formação em eficiência energética, também com foco nas fontes alternativas e suas conexões às redes elétricas. O EXCEN é um dos centros de pesquisa do Parque Tecnológico de Itajubá.
- II. Grupo de Engenharia de Sistemas (GESIS): vem trabalhando fortemente em questões de planejamento, operação e otimização dos sistemas elétricos, também como foco no mercado tarifário e modelos de negociação dentro dos conceitos das redes inteligentes.
- III. Grupo de Estudos em Qualidade da Energia Elétrica (GQEE): o grupo está fundamentado nas questões de qualidade da energia, porém possui forte vertente em estudos, pesquisa e formação em proteção e monitoração dos sistemas elétricos. No segundo semestre de 2012 será inaugurado no Parque Tecnológico



de Itajubá o Centro de Estudos em Compatibilidade Elétrica para Redes Inteligentes. Este centro será todo gerenciado pelo GQEE.

Cabe mencionar que os trabalhos que vêm sendo desenvolvidos por estes e outros grupos possuem fontes de financiamento, para a construção e/ou operação de seus centros de pesquisa, vindo de setores/ empresas como CEMIG, Eletrobrás, FINEP, FAPEMIG, Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Minas Gerais (SECTES), etc. Assim como muitos projetos específicos de pesquisa e desenvolvimento veem também dos chamados P&Ds da ANEEL, em parceria com diferentes empresas do setor elétrico.

Considerando a atuação conjunta e associada dos grupos de trabalho, dos cursos de engenharia e das Unidades Acadêmicas citadas anteriormente, a introdução do conceito de *Smart Grids* no curso de engenharia elétrica, tanto na graduação, quanto na pós-graduação, torna-se uma tarefa pouco dispendiosa, uma vez que todos os ingredientes da multidisciplinaridade das redes elétricas inteligentes, ou redes do futuro, estão presentes na universidade.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contribuição deste artigo é centrada na ênfase das áreas e cursos que devem ser integrados ao *curriculum* existente do engenheiro de sistemas de potência de forma a permitir uma transição adequada para a preparação do profissional que deverá projetar e operar a rede elétrica do futuro. Considerações e sugestões são feitas de modo a contribuir para o processo de conscientização e desenvolvimento da educação acadêmica e treinamentos necessários para equipar adequadamente o setor elétrico de potência no Brasil.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem aos órgãos de fomento à ciência, tecnologia e inovação existentes no Brasil, CNPq, CAPES e especialmente à FAPEMIG, sem os quais a implantação de centros de pesquisa no contexto deste trabalho não seria possível.

## REFERÊNCIAS / CITAÇÕES

ALBU, M., BOICEA, A. CALIN, V. M., POPA, M. Emerging smart grid topics in electrical engineering education. POWERTECH, 2011 IEEE Trondheim, 2011, pp. 1-6.

ANEEL, disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>>. Acesso em 27 de maio de 2012.

AMIN, S. M., WOLLENBERG, B. F. Toward a smart grid: power delivery for the 21st century. Power and energy magazine, IEEE, vol. 3, pp. 34-41, 2005.

BERGER, L T.; INIEWSKI, K. Smart Grid Applications, Communications and Security. 1. Ed. New Jersey, USA, John Wiley & Sons, 2012.



CHAKRABORTTY, A; ILIC, M. Control and Optimization Methods for Electric Smart Grids, 1. Ed. New York, Springer Press, 2012.

EIA, US Energy Information Administration, disponível em <<http://205.254.135.7/electricity/>>. Acesso em 26 de maio de 2012.

EKANAYAKE, J; JENKINS, N; LIYANAGE, K; WU, J; YOKOYAMA, A. Smart Grid: Technology and Applications. 1 ed. Chichester, UK, John Wiley & Sons, 2012.

ELECTRIC POWER MONTHLY, US Energy Information Administration, Março 2012, Tabela 1.3. Acessado em <<http://205.254.135.7/electricity/monthly/pdf/epm.pdf>>

FLICK, T; MOREHOUSE, J; Securing the Smart Grid - Next Generation Power Grid Security, 1. Ed. Burlington, Academic Press. Elsevier, 2011.

FOX-PENNER, P. Smart Power: Climate Change, the Smart Grid, and the Future of Electric Utilities. 2. Ed. Washington, Island Press, 2010.

GELLINGS, C W. The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response. 1. Ed. Lilburn, USA. The Fairmont Press, Inc., 2009.

HADJASAÏD, N., SABONNADIÈRE, J, Smart Grid. 1. Ed. Hoboken, US, John Wiley & Sons, 2012

HERTZOG, C. Smart Grid Dictionary. 1. ed. USA: GreenSpring Marketing LLC, 2009.

IEEE PES, disponível em <<http://smartgrid.ieee.org/resources>>. Acesso em 26 de maio de 2012.

KEYHANI, A. Design of Smart Power Grid Renewable Energy Systems. 1. Ed. New Jersey, John Wiley & Sons, 2011.

KEZUNOVIC, M. Teaching the smart grid fundamentals using modeling, simulation, and hands-on laboratory experiments. Power & Energy Society General Meeting, 2010 IEEE, 2010, pp. 1-6.

MOMOH, J. Smart Grid – Fundamentals of Design and Analysis. 1. Ed. New Jersey, John Wiley & Sons, 2012.

REED, G. F., STANCHINA, W. E. Smart grid education models for modern electric power system engineering curriculum. Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE, 2010, pp. 1-5.

SAUER, P. W., Educational needs for the Smart Grid workforce. Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE, 2010, pp. 1-3.

SCHULZ , N. N., Integrating smart grid technologies into an electrical and computer engineering curriculum. Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT), 2011 IEEE PES, 2011, pp. 1-4.



SETTI, R. Disponível em <<http://oglobo.globo.com/tecnologia/smart-grid-vai-turbinar-rede-eletrica-do-pais-4952797>>. Acesso em 25 de maio de 2012

SIOSHANSI, F. P. Smart Grid - Integrating Renewable, Distributed, and Efficient Energy. 1. Ed. Waltham, Academic Press, Elsevier, 2011.

SHAHIDEHPOUR M., ZUYI L. A World-Class Smart Grid Education and Workforce Training Center. Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE, 2010, pp. 1-1.

SOREBO, G; ECHOLS, M. Smart Grid Security: An End-to-end View of Security in the New Electrical Grid. 1. Ed. Boca Raton, USA. CRC Press, 2012.

USA DOE - Department of Energy. Diversos e-books: The Smart Grid: An Introduction; Consumer Advocates; Environmental Groups; Policymakers; Regulators; Technology Providers; Utilities. Disponível em <[http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE\\_SG\\_Book\\_Single\\_Pages\(1\).pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_SG_Book_Single_Pages(1).pdf)>. Acessado em 24 de maio de 2012.

VENAYAGAMOORTHY, G. K. Adaptive, Computational and Intelligent systems in a Smart Grid education curriculum. Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE, 2010, pp. 1-2.

WBGU, German Advisory Council on Global Change, disponível em <<http://www.wbgu.de/en/home/>>. Acesso em 27 de maio de 2012.

## **INTRODUCING THE CONCEPT OF SMART GRID IN THE ELECTRICAL ENGINEERING CURRICULUM IN BRAZIL**

**Abstract:** *This paper shows the importance of introducing the fundamental concepts of smart grid in the electrical engineering curriculum. This issue has been the subject of global debates, in various aspects, including training and academic education. In addition, smart grids are becoming a reality in many developed countries (USA, Japan, Germany) with the implementation of large pilot projects and actions to improve their transmission and distribution networks. In Brazil there is already a major concern with the theme, as well as actions carried out by the regulatory and supervisory agencies (ANEEL, ONS) and utilities to move forward on the issue. The Electrical and Energy Systems Institute, one of the Academic Units of the Itajubá Federal University, is joining efforts in order to focus on the subject of smart grid in several works of research and academic training, with the support of its working groups and courses existing at the University.*

**Key-words:** *Academic education, Electrical networks, Smart grid, Power grid of the future.*