



**XXII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GET/24  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO -XIV**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO - GET**

**CENÁRIOS DE ATUAÇÃO NO ÂMBITO DO SMART GRID PARA GERADORAS E TRANSMISSORAS DO SISTEMA ELETROBRAS**

**Guilherme de Figueiredo Preger(\*)  
FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS**

**Eudes dos Santos Martins  
ELETROBRAS**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta proposta de atuação estratégica tecnológica no cenário de smart grid. Esta estratégia visa traçar trajetórias de aquisição e geração de conhecimentos e competências às empresas geradoras e transmissoras do sistema Eletrobras para atuação no novo paradigma. A proposta divide-se em três partes: discussão do conceito de smart grid como mudança de paradigma; “pesquisa tecnológica” a partir de buscas semânticas realizadas por um software “robô” no banco de dados do IEEE para identificar as principais áreas de estudos do smart grid. Finalmente, um esboço de planejamento estratégico tecnológico que descreve rotas tecnológicas para desenvolver competências em tecnologias críticas.

**PALAVRAS-CHAVE**

Smart Grid, Fontes alternativas, Planejamento Estratégico Tecnológico, Roadmap

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos o conceito de smart grid vem sendo utilizado para designar um conjunto de mudanças estruturais no setor elétrico em âmbito mundial. Essas mudanças, sobretudo a partir do ano de 2005 (ver histórico mais adiante), receberam a denominação de smart grid em função da implementação cada vez mais intensiva do conceito de “redes inteligentes” (“smart networks”), isto é, sistemas capazes de resposta “inteligente”, de tomar decisões sem a participação humana. “Smarts” podem ser os sistemas de proteção, supervisão e controle, como podem ser os equipamentos, tais como termostatos e medidores, ou dispositivos (IEDs- Intelligent Electrical Devices). Já “Grids” representam a “malha” elétrica a ser controlada, porém já numa perspectiva de “redes” (networks) como entrelaçamentos de grids.

Mas o que é smart grid? Para o professor Djalma Falcão do instituto Coppe/UFRJ, smart grid significa “a utilização intensiva de tecnologia da informação, automação e comunicações na rede elétrica” (Falcão, 2011). Para a Wikipédia (em inglês), o smart grid é um “grid digital que reúne, distribui e age sobre a informação do comportamento de todos os participantes (supridores e consumidores) para melhorar a eficiência, a importância, a confiabilidade, a economia e a sustentabilidade dos serviços elétricos” (tradução dos autores)<sup>1</sup>. O conceito é bastante abrangente e admite várias interpretações, porém há certo consenso entre os profissionais do setor de

<sup>1</sup> “A **smart grid** is a digitally enabled [electrical grid](http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid#cite_note-3) that gathers, distributes, and acts on information about the behavior of all participants (suppliers and consumers) in order to improve the efficiency, importance, reliability, economics, and sustainability of electricity services. [http://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_grid#cite\\_note-3](http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid#cite_note-3)”

que essa sigla compreende uma “mudança paradigmática” na área de energia, compreendendo os seguintes mínimos pontos de ruptura:

a) Fontes alternativas: uso crescente não apenas de fontes renováveis, mas sobretudo de novas fontes, tais como energia solar, eólica, energia a partir da biomassa, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), energia geotérmica, energia das marés, energia do hidrogênio, etc. Todo esse tema aponta para uma mudança na “matriz energética” dos setores elétricos internacionais.

b) Descentralização da geração: a geração em grande escala (bulk generation) e centralizada em poucos grandes empreendimentos cederá terreno para a geração em escala menor com empreendimentos mais localizados ou em micro-escala, dando vez à geração distribuída (geração ligada à grade de distribuição) e/ou a geração autônoma dos consumidores (microgeração) os quais então se tornariam também geradores (“prosumers” ou prosumidores).

c) Sistemas de controle inteligente: associada à questão da descentralização está a necessidade de adotar novos sistemas de controle em substituição aos atuais sistemas de despacho elétrico, ainda caracterizados pela dependência do operador (“operador-dependentes”). Os novos sistemas formarão “redes inteligentes” (smart networks) que poderão processar o crescimento exponencial de novos “inputs” energéticos de milhares (ou mesmo milhões<sup>2</sup>) de geradores não mais regionalizados, mas a partir de “grids”, células de controle.

d) Qualidade da energia: embora o quesito da confiabilidade do suprimento energético, ou segurança da energia, sempre tenha sido uma das prioridades do setor, a adoção dos sistemas de controle inteligentes mencionada no item anterior acrescenta a essa questão nova complexidade, uma vez que imbricação entre energia e informação, entre sistemas elétricos e tecnologias da comunicação, abre possibilidades de brechas para ataques cibernéticos ou outras ameaças virtuais. Além disso, o uso de sistemas inteligentes controlando de forma automatizada uma rede de milhares ou milhões de inputs gera a necessidade de realizar análises não apenas quantitativas (supervisão), mas qualitativas (cognição) através de Sistemas-de-sistemas (SoS) ou Meta-sistemas com integração do controle distribuído em termos de “grids” com comportamento cognitivo e auto-regenerante (“self-healing”).

e) Eficiência energética: um tema já antigo, porém no conceito de smart grid torna-se mais abrangente. Eficiência energética engloba a otimização do uso das fontes de energia, através da alocação inteligente dos recursos, distribuição mais racional do consumo (por exemplo, com a redução dos “picos” de uso através da diferenciação tarifária) e aperfeiçoamento elétrico dos dispositivos. No entanto, cresce a importância dada ao desenvolvimento da tecnologia de armazenamento elétrico, para criar formas mais eficientes de armazenar energia excedente dos prosumidores. O tema da eficiência energética, no futuro, aponta para o uso de uma “internet das coisas”, uma interligação em rede de dispositivos que permitiria uma monitoração “online” do uso, consumo e microgeração de dispositivos elétricos, seja pela operadora, como pelos próprios clientes, aumentando o controle desses últimos sobre sua participação energética, fornecendo-lhes “empowerment”.

f) Empoderamento dos consumidores: inicialmente, o foco das discussões sobre smart grid era o tema dos “medidores avançados inteligentes” (AMIs), dispositivos de controle online de consumo ou microgeração de energia. O interesse das distribuidoras neste item era principalmente reduzir as chamadas “perdas elétricas”, sobretudo aquelas devidas às ligações clandestinas dos consumidores de baixa renda. Essa preocupação levou, inicialmente, a uma concepção prematura de que smart grid seria um assunto exclusivamente ligado à área da distribuição de energia. No entanto, a concepção avançou no sentido de entender este conceito, no âmbito do smart grid, como uma forma de tornar mais ativa a participação do consumidor no uso da energia, dando-lhe mais controle sobre seu consumo e eventualmente tornando-o um “prosumidor”, não apenas um consumidor passivo, mas um supridor energético capaz de ter parcial autonomia energética (auto-geração) e ceder seu excedente para o sistema na forma de uma “cogeração”.

g) Mercados emergentes de energia: a possibilidade conjunta da auto-geração, microgeração e cogeração, isto é, a emergência dos prosumidores, pode ser vista como uma ameaça para os tradicionais grandes agentes do sistema elétrico, uma vez que o sistema antigo é baseado numa hierarquia de produção que torna o cidadão um mero consumidor passivo de energia gerada de forma “centralizada” e “linear”. Porém, por outro lado, abre um excelente campo de negócios para novos participantes (“players”) atuarem em todas as áreas, da geração ao consumo. Para que isso se torne realidade demanda-se por novas fórmulas de prognosticar e mensurar as flutuações de mercado através de novos e complexos algoritmos matemáticos que equacionem a oferta e a demanda (“Demand response” ou Resposta à demanda) que estarão concatenadas caoticamente em verdadeiros “loops” energéticos.

h) Novas topologias: o smart grid significa sobretudo uma nova “forma” de produzir e consumir energia. Se podemos entender todo o tema das fontes alternativas (item a) como uma mudança no “conteúdo” da energia que aponta para uma mudança na “matriz energética”, esta mudança de conteúdo não pode ser realizada sem que haja uma concomitante mudança na “forma”, numa relação recíproca e dialética de transformações. No entanto, sejam as novas fontes como os novos sistemas inteligentes de controle, eles possuem características muitos

<sup>2</sup> Com a possibilidade de integração dos veículos elétricos à rede (ver a rubrica V2G- “vehicle-to-the-grid”) não apenas como consumidores de energia, mas como fornecedores da energia armazenada em suas baterias.

distintas das tradicionais (intermitência, sazonalidade, espalhamento, microlocalização e complexidade) e demandam novas arquiteturas de desenhos técnicos. Uma das evidências é que o sistema deixou de ter uma configuração linear e unidirecional (Geração-transmissão-distribuição-consumo) para uma configuração em laço ("loop") onde as pontas do sistema se unem em círculo (Figura 1) no qual a retroalimentação (feedback) e a bidirecionalidade (two-way) da energia (o consumidor tanto "puxa" como "empurra" energia para as linhas) tornam o sistema muito mais complexo, obrigando a novos desenhos e novos algoritmos, muito mais sofisticados, de prognóstico, com uso de modelos matemáticos avançados e de computação intensiva.

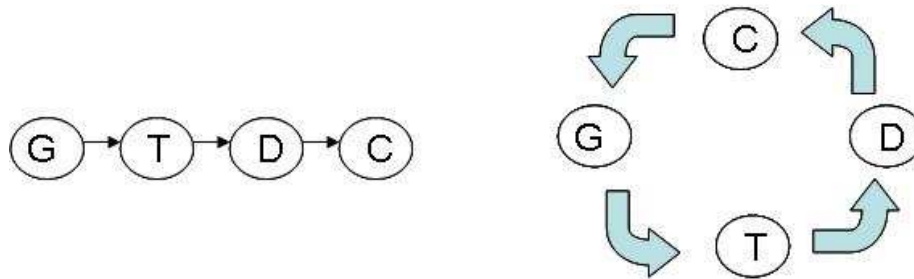


FIGURA 1 – Da topologia linear do sistema elétrico atual para a topologia em laço (loop) do smart grid

## 2.0 - PESQUISA TECNOLÓGICA

### 2.1 Metodologia

Dado o amplo espectro de possibilidades de atuação, a decisão de onde investir, para além da óbvia troca dos medidores e do estímulo ao uso de energias renováveis, necessita de uma estratégia. Uma das formas é avaliar tendências tecnológicas. Muitas vezes busca-se avaliar as patentes ligadas a um assunto para ter-se uma ideia do que a concorrência está fazendo. No presente caso, o amplo leque de saberes envolvidos, torna difícil esta opção. Uma alternativa é buscar uma base de conhecimento público de notório saber no assunto. Foi avaliado que a melhor base seria a do conjunto de artigos do IEEE sobre o assunto. O IEEE (<http://www.ieee.org/index.html>) é a maior associação profissional do mundo. Atua em mais de 160 países e sua origem remonta ao final do século XIX (1884) tendo sua estrutura atual sido estabelecida em 1963. Sua meta é promover conhecimento no campo da engenharia elétrica, eletrônica e computação. Um de seus papéis mais importantes é o estabelecimento de padrões para formatos de computadores e dispositivos. Em novembro de 2011 a base do IEEE tinha pouco mais de 3000 artigos em cujo resumo aparecia a palavra smart grid. A leitura dos artigos (6 páginas por artigo em média) seria uma tarefa inviável dentro do escopo deste trabalho. Até mesmo a alternativa de leitura direta dos 3000 resumos (300 palavras em média) se revelou inviável.

Foi buscada então uma forma mais automática para auxiliar na execução desta tarefa. A solução encontrada foi desenvolver macros de Word e Excel para tratar automaticamente os resumos. Inicialmente fez-se uma captura de 3000 resumos dos artigos a partir do site do IEEE gerando uma tabela no Word com 3000 entradas. Após realizado isso se procedeu a carga da tabela num vetor de cada uma das palavras na ordem em que apareciam no texto. Segue abaixo na Figura 2 os comandos em VBA (Visual Basic for Application - a linguagem de programação de Macros do Word e Excel) utilizados para esta captura.

```
Set myRange = ActiveDocument.Range(Start:=0, End:=Selection.End)
For Each aWord In myRange.Words
CONTA = CONTA + 1
VET(CONTA) = aWord.Text
Next aWord
```

FIGURA 2 – Comandos do programa de captura em VBA

Uma vez com o vetor carregado se obteve a frequência de cada palavra e foi gerado um relatório. Nesta lista buscamos as palavras de maior frequência que poderiam ser candidatas a palavras-chave principais. Obviamente as palavras de maior frequência não interessaram por se tratar de artigos gramaticais, conectivos, etc. (the; of; and; a; to). Algumas palavras, apesar de frequentes e relacionadas ao tema - MEASUREMENT (267 ocorrências) TRANSMISSION (474 ocorrências) COMMUNICATION (808 ocorrências) - também foram descartadas por serem consideradas excessivamente genéricas. No total foram enquadradas 27 palavras nessa mesma situação.

Por outro lado, houve casos em que um conceito poderia ser representado por mais de uma palavra. Foi o caso de “Intelligent Electronic Device” e suas variantes “61850” e “IED”. Outro exemplo foi “Islanding” e duas variantes “island” e “islanded”. Isso obrigou que fosse adotada uma estratégia de contabilizar somente uma vez os artigos que contivessem algumas das variantes. Outro problema superado foi contabilizar somente as “verdadeiras” ocorrências de um termo para evitar que “CIM”, “IED”, “DER”, etc. fossem contabilizadas quando fizessem parte de outras palavras. Para que as palavras genéricas pudessem ser consideradas de alguma forma, buscamos descobrir termos compostos. Para isso foi desenvolvida uma rotina que indicava a frequência com que palavras ocorriam antes e depois de uma dada palavra. Com isso foram acrescentados termos como “Advanced Metering” e “Energy market”.

## 2.2 Palavras-Chave

Como resultado deste tratamento, foram selecionados 46 termos entendidos como palavras-chave. Do total de 3000 artigos, 2869 (96%) estão relacionados a alguma das palavras chaves. Na Figura 3 apresentamos os termos de maior relevância e sua incidência em relação ao total de artigos.

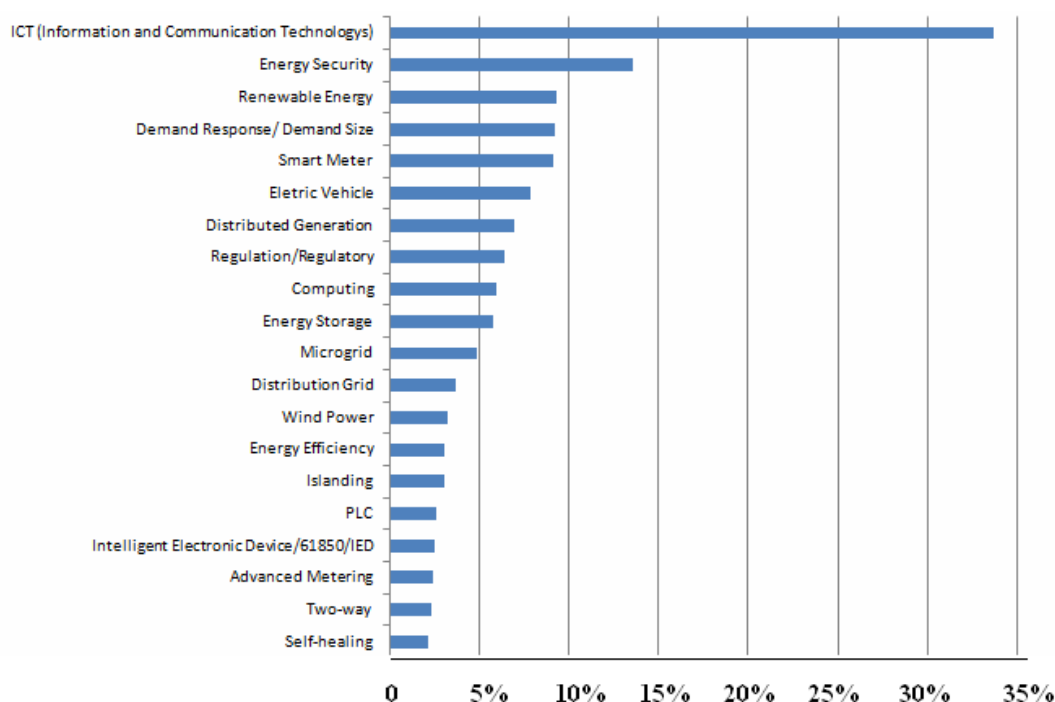


FIGURA 3– Palavras-chave mais importantes relacionadas por incidência no total de artigos pesquisados

## 2.3 Seleção de Temas

Uma vez selecionadas as palavras-chave, o objetivo passou a ser identificar áreas de conhecimento às quais elas estejam relacionadas para ajudar na futura escolha de áreas de atuação. Foi desenvolvida uma dialética de aproximação entre as palavras-chave e as áreas e funções de um planejamento de atuação. Escolheu-se agrupar as palavras-chave em grandes temas (GT), sendo estes subdivididos quando conveniente em temas secundários (TS), e sendo também estes subdivididos quando necessário em temas terciários (TT). Produziu-se assim um mapa de relacionamentos de temas mas abrangentes com as palavras-chave. A lista dos temas (grandes, secundários e terciários) com as respectivas palavras-chave aparece no quadro da Figura 4.

Como ilustrado na Figura 4, uma correta correlação de palavras-chave e criteriosa seleção permitiram a formação

de uma “árvore de temas” que se ramificam em conhecimentos, seguindo de um tema de maior abrangência, passando por tecnologias específicas, até os produtos determinados. Em função da necessidade de síntese, na tabela 1 indicamos os Grandes Temas selecionados.

Tabela 1 – Grandes Temas, quantidade de artigos e incidência sobre total

CS	Confiabilidade do Sistema	552	19,2%
DG	Descentralização da geração	296	10,3%
EC	Empoderamento do consumidor	552	19,2%
EE	Eficiência Energética	262	9,1%
ER	Energias Renováveis	364	12,7%
ME	Mobilidade Elétrica	242	8,4%
PS	Planejamento de sistema	285	9,9%

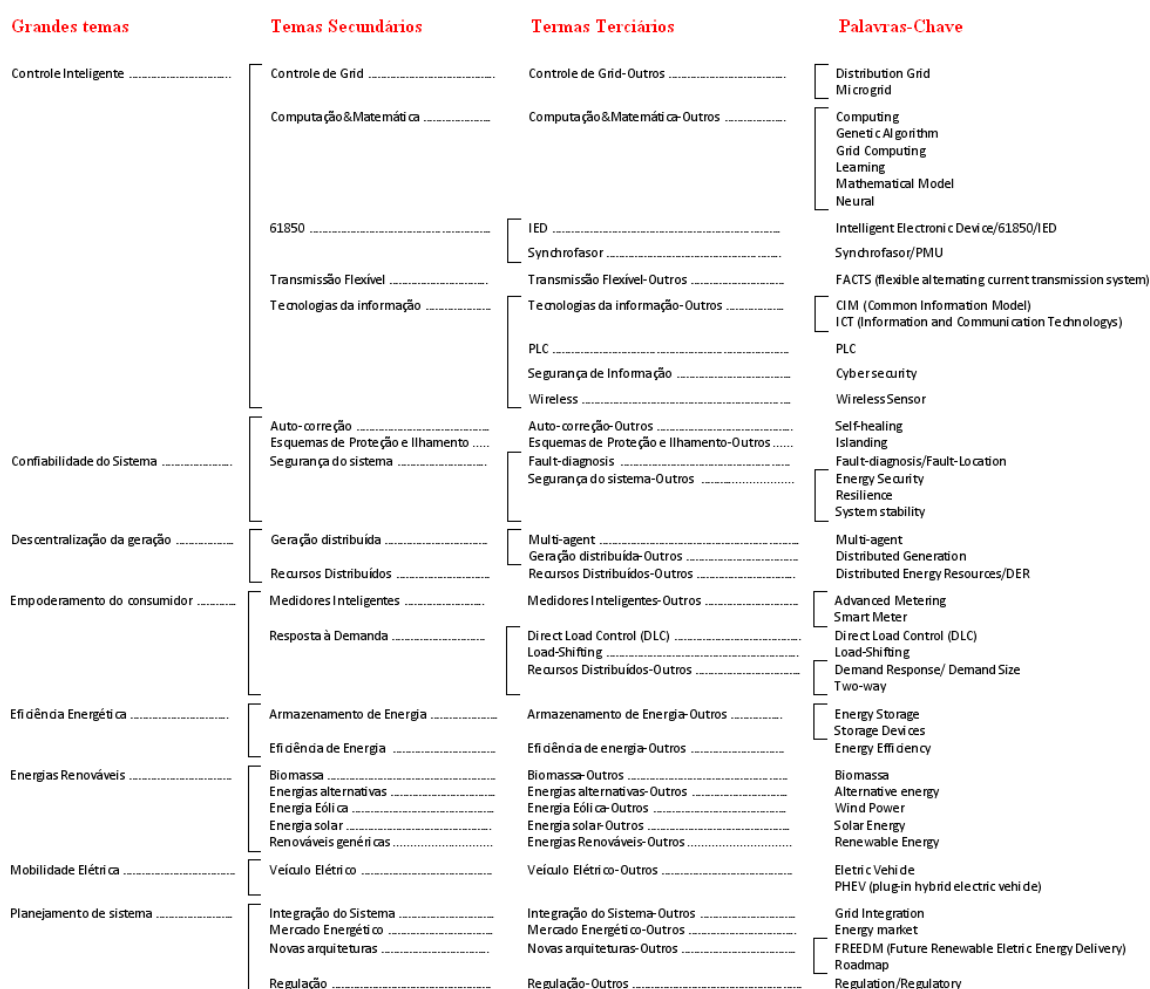


Figura 4 – Árvore de Temas

### 3.0 - PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO TECNOLÓGICO

A partir dos resultados da Pesquisa Tecnológica se pretendeu realizar uma tentativa de esboço de um planejamento estratégico de tecnologia (PET), em suas linhas gerais que possa servir de referência para o sistema Eletrobras nas áreas de Geração e Transmissão.

Uma estratégia de inovação é composta, basicamente, de 3 grupos de estratégias complementares entre si,

conforme ilustrado na Figura 5: uma estratégia de conhecimento, uma estratégia tecnológica e uma estratégia de desenvolvimento. Uma estratégia de conhecimento definirá as competências necessárias (ou as áreas de conhecimento crítico para atuação). Uma estratégia tecnológica definirá as tecnologias críticas (ou tecnologias de core, ou nucleares). Uma estratégia de desenvolvimento, afinal, definirá produtos e negócios a serem explorados. A partir das estratégias, um roadmap pode ser elaborado como uma das melhores ferramentas para se traçar rotas tecnológicas. Há muitas versões de roadmaps, uma das mais utilizadas é a do roadmap em camadas, ilustrado pela Figura 6. Analisando a divisão entre Grandes Temas, Temas Secundários e Temas Terciários apresentada na Pesquisa Tecnológica, podemos facilmente identificar que ela corresponde à divisão de camadas tecnológicas do roadmap. Assim, podemos relacionar os 8 Grandes Temas da Tabela 1, a 8 programas de P&D compondo portfólios bem definidos como Controle Inteligente, Confiabilidade do Sistema, etc. Não é difícil perceber igualmente que esses Grandes Temas também representam áreas de conhecimento que demandam competências essenciais.

Igualmente percebe-se que os Temas Secundários correspondem à camada de tecnologia, enquanto os Temas terciários, mais especificamente traduzem os produtos que fazem parte do espaço econômico do smart grid. Assim, o relacionamento entre os temas apresentado na Figura 4 pode ser entendido como tendo o mesmo significado entre as camadas intermediárias da Figura 6.

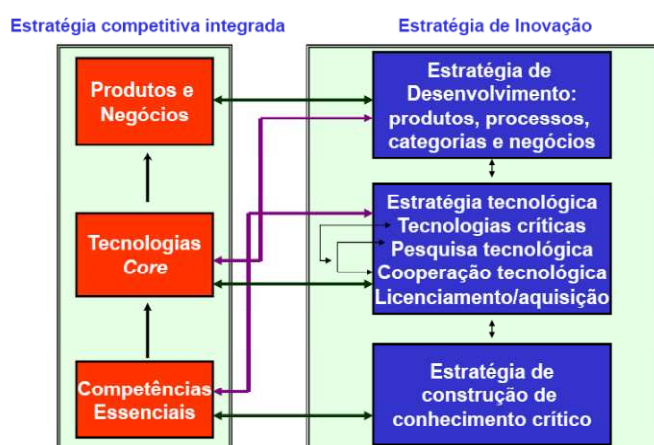


Figura 5 – Estratégia de Inovação

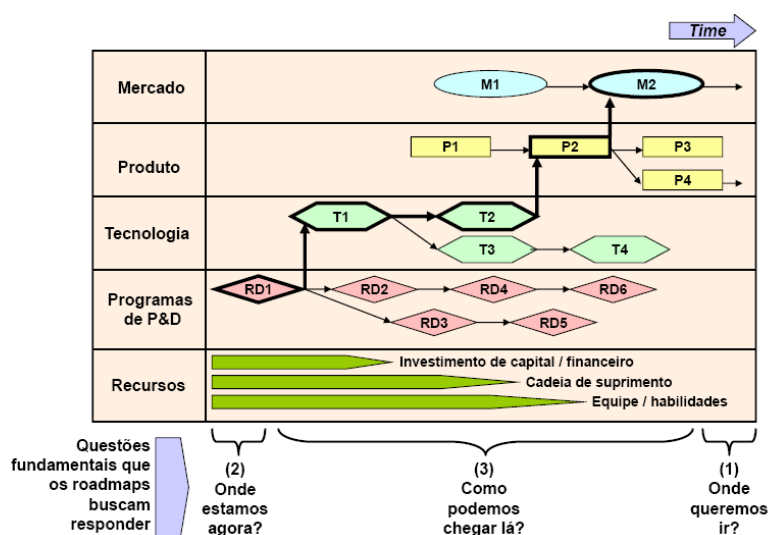


Figura 6 – Diagrama de Roadmap

Com base no diagrama de roadmap, uma estratégia de inovação focada em Redes Inteligentes/Smart Grid pode ser definida a partir de uma rota tecnológica. Essa rota define um programa centrado em torno de uma tecnologia crítica cujo objetivo programático é o desenvolvimento de um produto. Como vimos, os programas podem ser retirados a partir da seleção dos Grandes Temas da pesquisa tecnológica e expostos na Tabela 1. As tecnologias críticas são escolhidas entre os temas secundários e os produtos entre os temas terciários.

Para cada tecnologia crítica, uma análise de “gap” deve ser realizada. A análise de gap é uma análise de gargalo tecnológico. Ela aborda a distância entre uma situação tecnológica atual e uma situação tecnológica futura

desejada, de “onde estamos” para “onde queremos ir” e define parâmetros e diretrizes para que essa distância seja superada (“como podemos chegar lá”). A rota tecnológica, portanto, corresponde às ações para superar uma distância em relação a uma situação desejada, através da mobilização de recursos e da aquisição de competências necessárias.

Como exemplo para nosso trabalho, foi selecionada uma tecnologia crítica, a do protocolo IEC 61850, que pode ser inserida num grande programa de desenvolvimento do item “Controle Inteligente”. Desta tecnologia, dois produtos podem ser desenvolvidos: os dispositivos inteligentes (IEDs) e os sincrofasores (PMUs). Como exemplo de uma análise de gap, ver a Tabela 2.

Análises de Mercado se encontraram fora de escopo de nosso trabalho. Em seu lugar, foi realizada uma análise de custo e benefício, tendo como modelo uma análise semelhante realizada pelo DOE, Departamento de Energia Americano sobre o mesmo tema. O resultado está na tabela 3 para o dispositivo IED.

Tabela 2 – Análise de gap para tecnologia crítica

<b>Tecnologia crítica</b>	<b>Situação atual</b>	<b>Situação futura</b>	<b>Ações indicadas</b>	<b>Competências necessárias</b>
Protocolo IEC 61850	Sistemas de controle seriais, com protocolos fechados e operador-dependentes	Implantação de IEDs e PMUs (medição fasorial) para proteção, supervisão e controle	Implantação de projetos-piloto de subestações inteiramente configuradas neste protocolo e com medição fasorial por meio de programas e recursos de P&D	Tecnologia da informação e comunicação (TIC) para automação, Protocolos de rede da família 61850, Cybersegurança, sistemas de análise e predição de comportamentos

Tabela 3 – Análise de custo e benefício

<b>Tecnologia</b>	<b>Ativos</b>	<b>Funções</b>	<b>Mecanismos</b>	<b>Benefícios</b>
Protocolo IEC 61850	IEDs (Intelligent Electronic Devices)	Proteção, supervisão e controle inteligente da malha elétrica	Protocolo padronizado transportado por uma rede Ethernet	B8- Reduzir investimento em capacidade de despacho de transmissão B10- redução em falhas de equipamentos B17/18/19- Reduzir interrupções do suprimento B20/21- Aumentar qualidade do suprimento B25- Reduzir apagões de larga escala

#### 4.0 - CONCLUSÕES

Os conceitos atuais do grid de eletricidade são centenários e estão em vias de serem substituídos pelo novo paradigma apoiado na TIC. A radicalidade da mudança ainda está por ser devidamente avaliada. O encontro da vertiginosa velocidade das mudanças do mundo da TIC com o histórico vagar do mundo da tecnologia elétrica certamente vai provocar fissuras no até então estável solo do grid elétrico. Ao longo deste trabalho tentou-se ajudar a Eletrobras a reduzir seu espectro de possibilidades de atuação em relação ao Smart Grid na ponta da geração e transmissão. A abundante massa de informações que passará a estar disponível aliada a uma sempre crescente capacidade de processamento exige inteligências sofisticadas de mineração de dados (“data mining”) para desvelar novos mundos de opções. Este trabalho procurou oferecer um humilde começo nesse propósito. O presente trabalho é mais uma ferramenta que a empresa poderá lançar mão na reconstrução criativa em meio ao tsunami do smart grid.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PREGER, Guilherme de F. et MARTINS, Eudes dos S. “Cenários do Smartgrid para Geradoras e Transmissoras do Sistema ELETROBRAS”. Monografia: UNICAMP, Campinas, 2012.
- (2) BOSSART, S.J. et BEAN, J.E. Metrics and benefits analysis and challenges for Smart Grid field projects. DOE, s/d.

(3) FALCÃO, Djalma. Proteção, Medição, Controle e Automação para a Rede Elétrica do futuro. Painel do Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTTE), Florianópolis, 2011.

(4) WOLFS, P.; Isalm, S.. Potential barriers to smart grid technology in Australia Power Engineering Conference, 2009 p. 1 – 6.

(5) WAKEFIELD, M. Methodological Approach for estimation the benefits and costs of Smart Grid demonstration projects. EPRI, 2010.

#### 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Guilherme Preger é Engenheiro Eletricista de Telecomunicações formado pela PUC/RJ (1990). É Mestre em Eletromagnetismo Avançado por esta mesma instituição. Trabalha em Furnas desde 1994 na área de Planejamento de Sistemas de Telecom.

Eudes Martins é formado em 1979 na UFRJ em matemática (modalidade informática) e em 1986 em psicologia na UERJ. Atualmente, trabalha com suporte de infraestrutura de aplicativos de gestão empresarial (SAP).