

# PEA5918 – Redes Elétricas Inteligentes e Microrredes (*Smart Grids* e *Microgrids*)

Introdução à *Smart Grids*

Giovanni Manassero Junior

Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
Escola Politécnica da USP

Julho/2011

# Introdução

## A indústria de Samuel Insull

- Os sistemas elétricos de potência normalmente são considerados os maiores e mais complexos sistemas dinâmicos já construídos pela humanidade;
- É um conjunto de equipamentos (condutores, máquinas, torres, disjuntores, cargas, etc.) conectados entre si para desempenhar as funções de geração, transmissão e distribuição;
- Essa estrutura deve garantir confiabilidade, qualidade e preço reduzido para o consumidor de energia elétrica;
- O modelo da estrutura descrita foi estabelecido por Samuel Insull a partir da empresa *Chicago Edison Company*.

# A estrutura

## Os pilares de indústria de Insull

- A visão de Samuel Insull a respeito da indústria de energia elétrica é baseada em quatro pilares fundamentais:
  - Consumo de massa: é economicamente vantajoso fornecer energia elétrica a consumidores conectados em uma grande rede elétrica interconectada, uma vez que há aumento na confiabilidade;
  - Economia de escala: aumento na produção de energia elétrica resulta em diminuição dos custos por unidade de energia produzida, bem como garantia de entrega da energia elétrica;
  - Estratégia de *marketing*: descontos proporcionais ao consumo de energia elétrica (*sell more and charge less*);
  - Regulação: proporciona estabilidade de investimentos a uma indústria de capital intensivo e grande interação política.

# Os desafios técnicos

## Como garantir a operação desses sistemas

- Qualquer sistema elétrico de potência deve garantir o suprimento de energia aos consumidores, de forma confiável e ininterrupta, respeitando os limites de variação de frequência e tensão;
- Neste contexto, os grandes desafios técnicos dos sistemas elétricos interligados residem nas etapas de especificação, projeto e operação, de modo a garantir sua integridade nas mais diversas situações:
  - Na presença de variações instantâneas no consumo de energia: conexão e desconexão de cargas;
  - Na eventualidade de distúrbios: curtos-circuitos nos equipamentos que compõem os sistemas, perda de grandes blocos de carga, etc.

# Os desafios técnicos

## Como garantir a operação desses sistemas

- Em meados da década de sessenta, a indústria de energia elétrica iniciou o uso da eletrônica analógica e digital para efetuar o monitoramento, a automação e o controle dos sistemas elétricos de potência;
- Além disso, os avanços na tecnologia da computação permitiram a elaboração e utilização de ferramentas computacionais para a simulação dos sistemas elétricos de potência, de modo a planejar sua operação durante contingências;
- Atualmente, a utilização de equipamentos e ferramentas computacionais para esse fim é bastante difundida nas usinas de geração de energia elétrica, bem como nos sistemas de transmissão e, em menor escala, nas redes de distribuição.

# Novos paradigmas

## A necessidade de adaptação à nova realidade

- Atualmente existem outros desafios que se impõem à especificação, projeto e operação dos sistemas elétricos:
  - Redução do impacto da atividade humana sobre o meio ambiente: é consenso na comunidade científica que os gases de efeito estufa ocasionam mudanças climáticas e, portanto, devem ser mantidos em níveis seguros. Dentre estes gases, estão o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o metano ( $CH_4$ ), o óxido nitroso ( $N_2O$ ), Perfluorcarbonetos (PFC's ) e também o vapor de água;
  - Independência de fontes de energia não-renováveis: a oferta de energia obtida por meio de fontes não-renováveis deve apresentar declínio ao longo dos anos e, como consequência, o preço deve se elevar.

# Novos paradigmas

## Redução do impacto da atividade humana sobre o meio ambiente

- A questão das mudanças climáticas impõe um grande desafio à indústria de energia elétrica. Em alguns países há políticas em discussão para a redução da emissão de gases do efeito estufa (p. ex. nos EUA, há discussões sobre a redução em 80% ou mais, até o ano de 2050);
- Para atingir esses objetivos, a indústria de energia elétrica deve empregar diferentes fontes de energia, o que implica mudança nas usinas de geração;
- Deve-se ressaltar que o desafio não se resume apenas em modificar as usinas de geração para acomodar fontes de energia menos poluentes. Além disso, deve-se verificar o impacto dessas modificações nos índices de confiabilidade e qualidade de energia elétrica.

# Novos paradigmas

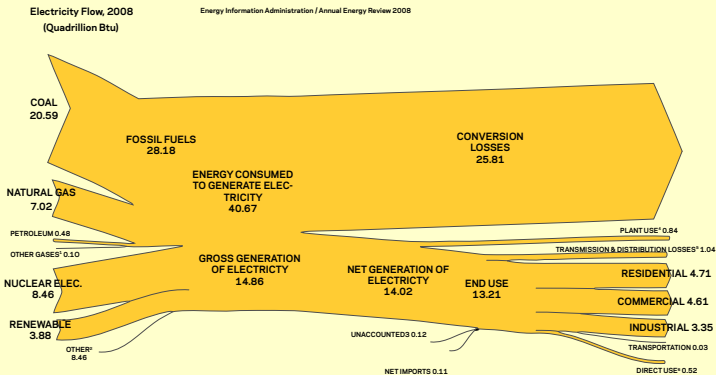
## Redução do impacto da atividade humana sobre o meio ambiente

- Associado a essa mudança é preciso investir em programas de eficiência energética, porém, essa premissa colide com uma das bases fundamentais da indústria (*sell more and charge less*);
- Desta forma, redirecionar os propósitos da indústria de energia elétrica para a comercialização e, simultaneamente, para a economia de energia elétrica pode colocar em xeque os modelos de gerenciamento atuais, os meios de financiamento e os mecanismos de regulação.



# Novos paradigmas

## Redução do impacto da atividade humana sobre o meio ambiente



<sup>1</sup> Blast furnace gas, propane gas, and other manufactured and waste gases derived from fossil fuels.

<sup>2</sup> Batteries, chemicals, hydrogen, pitch, purchased steam, sulfur, miscellaneous technologies, and non-renewable waste (municipal solid waste from non-biogenic sources, and tire-derived fuels).

<sup>3</sup> Data collection frame differences and non-reporting error. Derived for the diagram by subtracting the "T & D Losses" estimated in "T & D Losses and Unaccounted for" derived from Table B.1.

<sup>4</sup> Electric energy used in the operation of power plants.

<sup>5</sup> Transmission and distribution losses (electricity losses that occur between the point of

generation and delivery to the customer) are estimated as 7 percent of gross generation.

<sup>6</sup> Use of electricity that is 1) self-generated, 2) produced by either the same entity that consumes the power or an affiliate, and 3) used in direct support of a service or industrial process located within the same facility or group of facilities that house the generating equipment. Direct use is exclusive of station use.

Notes: • Data are preliminary. • See Note, "Electrical System Energy Losses," at the end of Section 2. • Values are derived from source data prior to rounding for publication.

• Totals may not equal sum of components due to independent rounding.  
Sources: Tables B.1, B.4a, B.9, A6 (column 4), and Energy Information Administration, Form EIA-923, "Power Plant Operations Report."

# Novas direções

## O fim da era Insull

- À medida que a indústria de energia elétrica caminha para a mudança nas fontes de energia e direciona esforços para a eficiência energética, as tecnologias adotadas atualmente se tornam obsoletas;
- Nas próximas décadas, a arquitetura dos sistemas elétricos pode mudar significativamente;
- A prevalência de grandes usinas de geração de energia elétrica e do controle centralizado deve ser sucedida pela presença de pequenas unidades geradoras e inteligência descentralizada;
- No centro dessa transformação se encontram as Redes Elétricas Inteligentes, que devem marcar essa mudança (possivelmente a maior mudança na indústria, desde a “Batalha das Correntes”).

# Definições

## Como definir o conceito de Redes Elétricas Inteligentes

- Nesse contexto, redes elétricas inteligentes são redes que utilizam extensivamente:
  - Equipamentos eletrônicos;
  - Sistemas de comunicação; e
  - Ferramentas computacionais.
- Com o objetivo de ampliar o desempenho dos sistemas elétricos, no que se refere à produtividade, eficiência energética, qualidade e desempenho ambiental.

# A desregulamentação do setor de energia elétrica

## A década de 1990

- O início da década de 1990 foi marcado pelo consenso de que os preços praticados pela indústria de geração de energia elétrica deveriam ser definidos pelo mercado e não pelos governos;
- A desregulamentação do setor de energia elétrica ocorreu de formas distintas nos países onde foi implantada;
- A Inglaterra é um exemplo de implementação bem sucedida, porém é um sistema de dimensões reduzidas;
- Nos Estados Unidos, a forma como a desregulamentação foi implementada resultou na crise energética enfrentada pela Califórnia no início do século XXI.

# A desregulamentação do setor de energia elétrica

## Estados Unidos

- Nos Estados Unidos, a desregulamentação do setor de energia elétrica foi implementada em apenas vinte e três estados e, atualmente, todos estão reestruturando o processo;
- A agência reguladora americana é denominada FERC – *Federal Energy Regulatory Commission*;
- Cabe à FERC definir os preços para a transmissão de energia elétrica em todas as regiões sob sua responsabilidade, porém a FERC não tem poderes para definir concessões para a construção de novas linhas de transmissão.

# Estados Unidos

## O processo de desregulamentação

- O processo de desregulamentação foi impulsionado pela perspectiva de reduções significativas no preço final da energia elétrica;
- No entanto, esse processo foi implantado de forma independente pelos estados, sem uma política nacional. Inicialmente, os estados que aderiram ao processo possuíam preços mais elevados que a média nacional;
- À medida que o processo foi se consolidando, a FERC permitiu o livre acesso aos sistemas de transmissão e, em seguida, permitiu que empresas de geração comercializassem a energia elétrica no mercado de energia.

# Estados Unidos

## O por quê da implantação parcial

- O argumento utilizado para a implantação da desregulamentação do setor não garantiu a participação dos estados que possuíam preços inferiores à média nacional;
- Além disso, a experiência resultante do processo nacional de desregulamentação do setor de telefonia influenciou negativamente a decisão política dos estados;
- Ademais, poucos estados possuíam capacidade para garantir o sucesso do processo de desregulamentação, isto é: um número suficiente de empresas de geração, capacidade de transmissão para acomodar todas essas empresas e regras de livre acesso consolidadas.

# Estados Unidos

## Alternativas de consumo

- Para evitar o impacto negativo da implantação do processo de desregulamentação, os estados permitiram que os consumidores optassem pelo livre mercado ou pelo mercado regulado;
- Os preços praticados pelo mercado regulado foram denominados *POLR rates – PrOvider of Last Resort rates*, e foram ajustados para valores inferiores aos normalmente praticados;
- Para que as *POLR rates* pudessem ser modificadas, era necessário obter permissão dos governos estaduais;
- Como consequência, os preços praticados pelo livre mercado não foram capazes de competir com as *POLR rates*.



# Estados Unidos

## A crise da Califórnia

- A crise da Califórnia teve início com a escassez de recursos naturais no estado, principalmente gás natural;
- Em decorrência da redução na oferta das fontes de energia, os preços da energia elétrica se elevaram rapidamente, ocasionando um aumento de preços em toda região oeste;
- Para evitar maiores danos, os estados dessa região iniciaram planos para redução no consumo de energia elétrica e viabilizaram financiamentos para construção de novas usinas de geração.

# Estados Unidos

## A crise da Califórnia

- Entre junho de 2000 e junho de 2001 os cidadãos da região oeste dos Estados Unidos gastaram aproximadamente quarenta bilhões de dólares a mais do que nos doze meses anteriores;
- Durante esse período houve blecautes e cortes no fornecimento de energia elétrica;
- Entretanto, o pior dano talvez tenha sido a falsa ideia de que a desregulamentação do setor elétrico não é capaz de proporcionar benefícios ao setor.

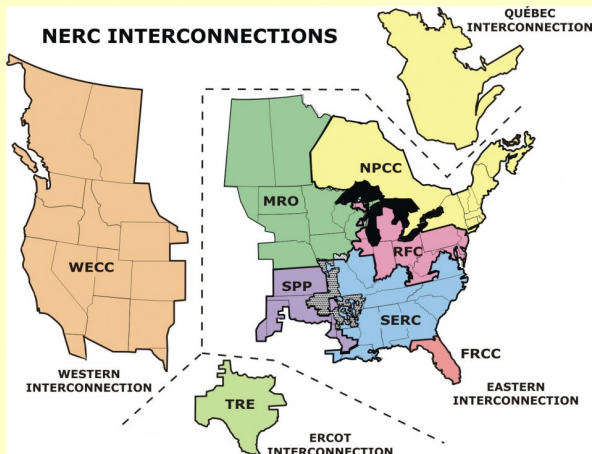
# Estados Unidos

## A situação atual

- Cada estado possui uma agência reguladora de serviços públicos que estabelece, junto às concessionárias privadas de distribuição de energia (IOU's – *Investor Owned Utilities*), os preços praticados ao consumidor final;
- Normalmente, as concessionárias públicas definem os preços a serem praticados sem a interferência dessas agências;
- Nos Estados Unidos há três sistemas de transmissão interligados distintos;
- Com exceção do Texas, esses sistemas estão sob jurisdição da FERC e devem seguir as normas de confiabilidade definidas pela NERC – *North American Electric Reliability Corporation*.

# A desregulamentação do setor de energia elétrica

Estados Unidos



# O início das redes elétricas inteligentes

## Sequim – Washington

- No início do ano de 2005, pesquisadores do PNNL – *Pacific Northwest National Laboratory* efetuaram a primeira instalação de medidores inteligentes nos Estados Unidos;
- Essa instalação foi conduzida em conjunto com a concessionária pública da cidade de Sequim, em Washington (Clallam Public Utility), com o objetivo de postergar a ampliação do sistema elétrico dessa concessionária;
- A empresa Whirlpool, gigante do setor de eletrodomésticos, participou desse processo.

# O início das redes elétricas inteligentes

## Resposta pelo lado da demanda

- Os medidores inteligentes empregados em Sequim foram desenvolvidos para receber informações atualizadas sobre os preços da energia elétrica ao longo do dia;
- Desta maneira, o consumidor podia decidir sobre quando e como utilizar a energia elétrica disponível;
- Em última análise, o consumidor podia decidir sobre pagar o preço da energia durante os horários de pico, ou mudar seus hábitos de consumo para reduzir despesas.

# Medidores elétricos inteligentes

## Aumento na confiabilidade dos sistemas

- Permitir que os consumidores pudessem decidir sobre como e quando consumir a energia elétrica disponível era apenas parte do experimento conduzido pelos pesquisadores da PNNL;
- Além disso, o experimento consistia em investigar se o emprego desses medidores era capaz de ampliar os índices de confiabilidade do sistema;
- Para tanto, esses medidores foram dotados de atuadores responsáveis por ligar/desligar cargas dentro das residências dos consumidores.

# Os resultados do experimento em Sequim

## Expectativas positivas

- Os pesquisadores da PNNL chegaram à conclusão que os consumidores que participaram da iniciativa foram beneficiados com reduções de cerca de dez por cento na conta de energia elétrica;
- Esse resultado foi obtido apenas com a mudança nos hábitos de consumo e não com a redução no consumo individual de energia elétrica;
- Durante o início do experimento, o mercado apresentou algumas variações significativas de preço, até os consumidores se habituarem com o sistema de tarifação.



# Produção de soluções semelhantes em escala

## Detalhes do experimento

- O custo individual dos medidores inteligentes desenvolvidos pelo PNNL era da ordem de mil dólares;
- Os pesquisadores do PNNL forneceram suporte técnico em tempo integral de modo a garantir o funcionamento adequado desses medidores inteligentes;
- A participação maciça dos consumidores de Sequim foi alcançada com a garantia de que haveria uma redução significativa na conta de energia elétrica;
- Sendo assim, a política de preços praticada pela concessionária ainda era, de certa forma, regulada.

# Custos de produção

## Detalhes

- Além dos custos de capital, pode-se incluir os seguintes custos na atividade de geração de energia elétrica:
  - Combustível: usinas de geração que não empregam fontes de energia renováveis possuem custos associados à compra dessas fontes;
  - Manutenção: qualquer usina de geração possui um custo de manutenção que varia conforme o tipo de equipamento e conforme a idade desses equipamentos;
  - Capacidade reserva: a garantia de atendimento às cargas conectadas nos sistemas elétricos depende da manutenção de unidades geradoras em *stand by*;
  - Outros: custos de administração, salários, despesas gerais, etc.

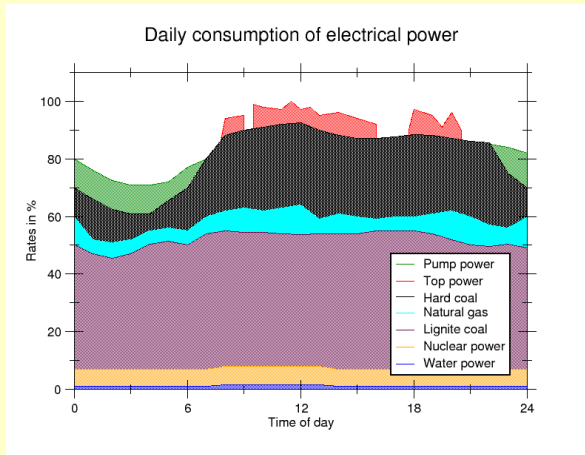
# Custos de produção

## Operação dos sistemas interligados

- Parte das atribuições dos operadores dos sistemas interligados é decidir como agregar a capacidade reserva ao longo do dia, considerando as variações de carga do sistema e o custo de produção de energia elétrica nessas condições;
- Essa tarefa deve ser realizada de modo que o custo total de produção de energia elétrica seja o menor possível, para garantir o maior retorno ao setor;
- De maneira simplista, isso significa manter, na base do sistema produtivo, as usinas que têm custo operacional mais baixo e, à medida que a carga aumenta, colocar em operação as usinas que possuem custo operacional mais elevado, para manter os índices de confiabilidade do sistema.

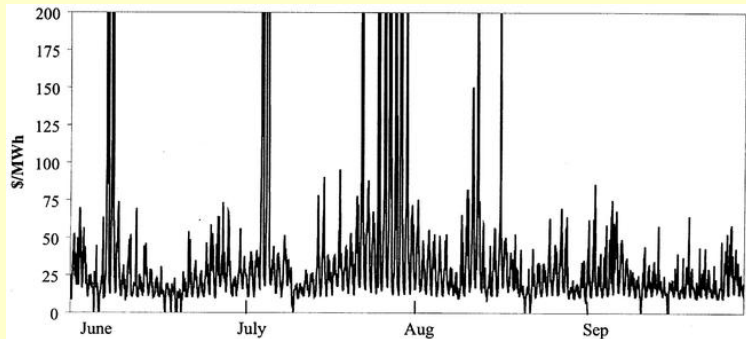
# Custos de produção

## Consumo de fontes de energia



# Custos de produção

## Variação de preços



# Tarifação de energia elétrica

## O medidor de energia elétrica convencional

- A medição de energia elétrica individual não considera a variação de preços apresentada;
- A maioria dos consumidores não paga o valor correto pela energia consumida em função do instante em que essa energia foi consumida;

*It is like weighing your grocery cart when you check out at the supermarket and charging you per pound of groceries in the cart, without prices for any of the specific items you chose to buy that day, whether it be caviar or pet food.*

Peter Fox-Penner

# Medidores eletrônicos inteligentes

## Panorama futuro

- No contexto apresentado, o modelo de precificação da energia elétrica consumida deve incluir, além dos custos mencionados (capital, investimentos, manutenção, operacional, etc.), o risco associado à aquisição de fontes de energia cujo preço é definido pelo mercado;
- Com o objetivo de simplificar a precificação e, além disso, informar os consumidores sobre seus hábitos de consumo, algumas concessionárias têm implantado sistemas de medição inteligente;
- Os medidores inteligentes que integram esses sistemas são capazes de registrar o consumo de energia elétrica e associá-lo a uma etiqueta de tempo;
- Sendo assim, é possível tarifar o consumidor de maneira mais adequada.

# Medidores eletrônicos inteligentes

## Capacidades

- A medição inteligente baseada em preços variáveis ao longo do dia apresenta um novo panorama de possibilidades:
  - O modelo de precificação pode ser mais simples e, além disso, novas opções de preço podem ser oferecidas aos consumidores;
  - Medidores inteligentes podem trabalhar em conjunto com os equipamentos dos consumidores, de modo a alterar padrões de consumo automaticamente, em função do preço praticado pelas concessionárias;
  - Além disso, esses medidores podem facilitar a integração de pequenos geradores e unidades de armazenamento dos consumidores;
  - Em conjunto com ferramentas computacionais adequadas, os medidores podem efetuar o gerenciamento do consumo, produção e armazenamento dos consumidores.



# Medidores eletrônicos inteligentes

## Alterações nos padrões de consumo

- Nesse novo panorama, a garantia de integridade dos sistemas elétricos de potência, na presença de variações instantâneas de carga, ainda é de responsabilidade dos operadores;
- Porém, a presença de consumidores capazes de modificar seus hábitos de consumo para reduzir seus custos com energia elétrica torna-se uma ferramenta adicional para o atendimento desse requisito.

# Smart Grids

## Novas definições para conceito de Redes Elétricas Inteligentes

- Existem diversas definições para o conceito de redes elétricas inteligentes. Entretanto, pode-se destacar a seguinte:

*Combining time-based prices with the technologies that can be set by users to automatically control their use and self-production, lowering their power costs and offering other benefits such as increased reliability to the system as a whole.*

Peter Fox-Penner

- De uma maneira bastante simplista, pode-se dizer que redes elétricas inteligentes são o resultado da combinação de sistemas elétricos de potência e tecnologia da informação.

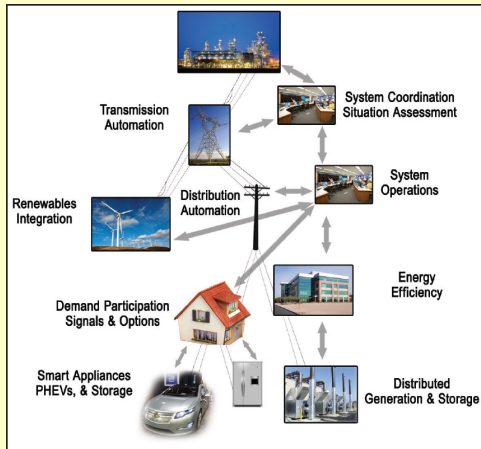
# Smart Grids

## Um conceito abrangente

- De acordo com o departamento de energia dos Estados Unidos, o conceito de redes elétricas inteligentes engloba duas situações distintas:
  - *Smarter Grid*: consiste na integração entre as tecnologias digitais disponíveis atualmente e as redes elétricas;
  - *Smart Grid*: consiste na pesquisa e desenvolvimento de soluções que viabilizem redes elétricas capazes de garantir níveis de confiabilidade ainda maiores sem o aumento dos custos associados a esse benefício, integrar autoprodutores de energia, reduzir os níveis de emissão de gases do efeito estufa, etc.

# Smart Grids

Um conceito abrangente



# Smart Grids

## Características das redes elétricas inteligentes

- Ainda de acordo com o departamento de energia dos Estados Unidos, as características a serem pesquisadas e desenvolvidas são:
  - Participação dos consumidores;
  - Capacidade de acomodação de autoprodutores de energia elétrica;
  - Viabilização de novos produtos e serviços;
  - Qualidade de energia de acordo com as necessidades;
  - Otimização dos ativos e eficiência energética;
  - Operação resiliente a distúrbios, ataques e desastres naturais.

# Smart Grids

## Participação dos consumidores

- Os consumidores se tornam parte integrante dos sistemas elétricos de potência e podem contribuir para o equilíbrio entre oferta e demanda;
- A mudança na maneira como compram e utilizam a energia elétrica pode ampliar a confiabilidade dos sistemas elétricos;
- Essas mudanças decorrem das novas escolhas disponíveis aos consumidores, por meio de novas tecnologias, informações sobre seus hábitos de consumo, novas formas de tarifação e incentivos.

## Smart Grids

### Capacidade de acomodação de autoprodutores de energia elétrica

- Redes elétricas inteligentes devem acomodar de maneira equânime as usinas de geração centralizada e os autoprodutores de energia elétrica (DER – *Distributed Energy Resources*);
- A garantia dessa capacidade de acomodação deve incentivar o crescimento da cadeia produtiva associada à indústria de geração distribuída (fornecedores e clientes);
- Os tipos de geração distribuída serão diversificados e devem incluir energias renováveis e dispositivos de armazenamento de energia.

# Smart Grids

## Viabilização de novos produtos e serviços

- O aumento do poder dos consumidores de energia elétrica, aliado à garantia de capacidade de acomodação de novos produtores pode resultar em novos produtos e serviços;
- Esses produtos e serviços estão relacionados diretamente com o gerenciamento dos sistemas elétricos de potência e os investimentos relacionados. São eles: gerenciamento da energia e da capacidade de geração, localização de novos empreendimentos, qualidade da energia fornecida, produtos agregados (*broadband over power line*, p. ex).



# Smart Grids

## Qualidade de energia de acordo com as necessidades

- Nem todos os consumidores de energia elétrica precisam da mesma qualidade de energia;
- Redes elétricas inteligentes devem permitir diferentes níveis de qualidade de energia e precificar adequadamente os diferentes níveis;
- Métodos avançados de controle podem monitorar componentes essenciais dos sistemas elétricos, permitindo rápido o diagnóstico e soluções precisas para eventos de qualidade de energia (surtos produzidos por descargas atmosféricas, surtos de manobra, curtos-circuitos e conteúdos harmônicos).

# Smart Grids

## Otimização dos ativos e eficiência energética

- A otimização dos ativos pode ser atingida com avaliações sobre o seu comportamento dinâmico. Essas avaliações permitem que os ativos sejam utilizados continuamente, próximos dos seus valores nominais;
- A operação otimizada dos ativos deve ser vinculada às atividades de manutenção. Para tanto, pode-se utilizar sistemas de manutenção preditiva, que sinalizam a necessidade de manutenção de equipamentos, precisamente no momento certo;
- A operação adequada dos ativos garante redução no congestionamento dos sistemas e, portanto, pode colaborar com o aumento da eficiência energética desses sistemas.

# Smart Grids

## Operação resiliente à distúrbios, ataques e desastres naturais

- Resiliência refere-se à capacidade de um sistema manter-se em funcionamento, total ou parcialmente, na ocorrência de situações imprevistas e/ou indesejadas;
- Redes elétricas inteligentes devem ter a capacidade de isolar essas situações e assegurar a entrega de energia elétrica aos consumidores, de forma rápida e eficiente;
- Além das situações decorrentes de desastres naturais ou acidentes, as redes elétricas inteligentes devem ser capazes de assegurar a entrega de energia, mesmo nas situações de ataques terroristas (ataques físicos ou cibernéticos).

# Smart Grids

## Sistemas de transmissão de energia elétrica

- O sistemas de transmissão de energia elétrica interligados caracterizam-se pelo uso extensivo de ferramentas computacionais, sistemas de automação, controle, supervisão, e comunicação;

*The way we look at it, the grid's been smart for a while. It takes some pretty sophisticated tools to monitor, dispatch, and control electricity flow.*

Peter Fox-Penner

- Apesar disso, ferramentas computacionais evoluem constantemente e, portanto, podem oferecer novos métodos aos operadores dos sistemas de transmissão;
- Deve-se ressaltar que os impactos dos conceitos de redes elétricas inteligentes nos sistemas de transmissão devem ocorrer de forma incremental, diferentemente das redes de distribuição.

# Precificação

## Métodos de precificação

- Conforme apresentado anteriormente o preço da energia elétrica consumida inclui os custos de capital, dos investimentos, da manutenção e operação, bem como do risco associado à aquisição de fontes de energia cujo preço é definido pelo mercado;
- Como resultado dessa composição, preço pode variar ao longo do dia, de acordo com a demanda por energia e a disponibilidade do sistema;
- Existem alguns métodos de precificação que utilizam essa variação. São eles:
  - TOU – *Time of use rates*;
  - CPP – *Critical peak pricing*;
  - RTP – *Real time pricing*.

# Precificação

## Métodos de precificação

Time Varying ("Dynamic") Electricity Pricing With Illustrated Examples Using Typical Rate Levels		
TIME-OF-USE (TOU) RATES	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rates increase above flat rate during pre-set daily peak periods by 100%.</li> <li>The most common in the past; easy to understand, predictable, and bill impacts most moderate. However, least efficient and impactful.</li> </ul>	
CRITICAL PEAK PRICING (CPP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>On 12 days selected by the utility, each one day in advance, prices are raised during the peak period by ~500%.</li> <li>Utility notifies customers one day in advance that peak prices will be in effect the following day.</li> <li>Can also be invented to offer peak time rebates.</li> <li>More impactful than TOU rates.</li> </ul>	
REAL-TIME PRICING (RTP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prices change every hour to reflect true hourly production costs and/or market prices.</li> <li>To reduce uncertainty, hourly prices re set one day in advance and made public.</li> <li>Most accurate and impactful, but also most complex and volatile. Usually applied only to large customers.</li> </ul>	

# Métodos de precificação

## Vantagens dos métodos de precificação dinâmica

- A precificação dinâmica estimula os consumidores a mudarem seus hábitos de consumo, reduzindo o consumo nos horários de pico, sem reduzir o consumo total;
- Isso significa que a precificação dinâmica não altera o lucro das concessionárias de energia elétrica, uma vez que o consumo é mantido;
- Porém, a mudança nos padrões de consumo permite uma utilização mais eficiente da infraestrutura existente, reduzindo a necessidade de ampliações.

# Precificação dinâmica

## *Peak shaving*

- A precificação dinâmica atua diretamente na demanda de pico uma vez que os preços da energia elétrica nessas condições são bastante elevados;
- Estima-se que os métodos de precificação possuam as seguintes características:
  - TOU: pode estimular uma redução de até 5% na demanda de pico;
  - CPP: neste caso, a redução estimada é da ordem de 20% na demanda de pico;
  - RTP: a implantação desse modelo de precificação ainda é experimental e, portanto, não há estimativas concretas sobre o seu impacto.



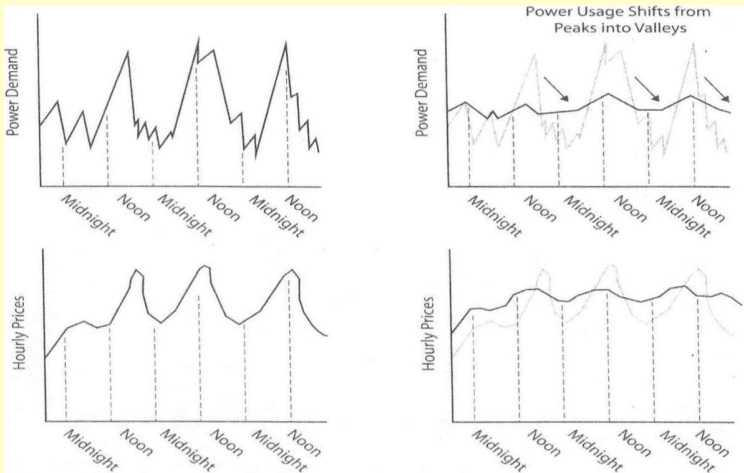
# Precificação dinâmica

## *Peak shaving*

- É importante ressaltar que o modo de implantação da precificação dinâmica, atualmente, depende de decisões dos consumidores quanto ao seu consumo durante o dia;
- No entanto, a utilização extensiva de medidores eletrônicos inteligentes permite atingir reduções ainda maiores;
- O emprego dessa tecnologia estimula os consumidores a ajustarem seus equipamentos para efetuarem o corte seletivo de cargas em suas instalações, a partir de ajustes efetuados pelos próprios consumidores.

# Precificação dinâmica

## Peak shaving



# Precificação dinâmica

## Barreiras e resistência

- A redução na demanda de pico, ocasionada pela precificação dinâmica, resulta em vantagens para todos os consumidores;
- Entretanto, para que a precificação dinâmica seja implantada com sucesso deve-se investir em AMI – *Advanced Metering Infrastructure*;
- AMI é composta pelos medidores eletrônicos inteligentes, pela infraestrutura de comunicação entre medidores e centros de operação, bem como pelos modelos de precificação dinâmica;
- O custo dessa infraestrutura para a implantação em larga escala deve estar entre duzentos e quinhentos dólares por medidor.

# Introdução

## Uma coleção de tecnologias

- O conceito de redes elétricas inteligentes consiste em um conjunto de tecnologias capazes de alterar a indústria de energia elétrica;
- Nesse contexto é necessário que os envolvidos no seu desenvolvimento, implementação e regulamentação analisem cuidadosamente as potenciais vantagens e desvantagens, com o objetivo de evitar seu fracasso, como no caso da desregulamentação do setor nos Estados Unidos;
- Deve-se ressaltar que a implantação das tecnologias que compõem as redes elétricas inteligentes requer grandes investimentos;
- O sucesso dessa implantação é de responsabilidade dos consumidores, em grande parte. Portanto, é difícil mensurar o retorno dos investimentos.

# Avaliação de benefícios

## O valor de não se construir

- Um dos benefícios da implantação das tecnologias associadas ao conceito de redes elétricas inteligentes é a mudança nos hábitos dos consumidores e, portanto, na possibilidade de se evitar a necessidade de construção de novos empreendimentos;
- Traduzir em números esse benefício é tarefa complicada, pois a necessidade de construção de novas usinas vem associada às especificações quanto ao seu tamanho, fonte de energia a ser utilizada, localização, etc.;
- Uma alternativa a essa tarefa poderia ser elaborada, levando-se em consideração a economia proporcionada pela menor utilização da reserva girante, porém não é adequada.

# O valor de não se construir

Complexidade de se avaliar o valor de não se construir

- A seguir são apresentados alguns requisitos para a análise em questão:
  - Previsão do valor da redução de custos, em cada ponto da rede onde geração de energia elétrica, ao longo do dia;
  - O valor da energia produzida ou economizada nesses instantes;
  - O custo marginal da geração distribuída para o atendimento às cargas;
  - O custo da implantação de corte seletivo de carga, para o caso de impossibilidade de atendimento.

# Benefícios difíceis de se mensurar

## Geração distribuída e resposta pelo lado da demanda

<i>Type of Benefit</i>	<i>Examples</i>	<i>Possible Offsetting Disbenefits</i>	<i>Beneficiaries</i>	<i>How Value Is Conveyed to DR and DG Providers?</i>
Planning and Investment	Less risk of new plant cost overruns Less risk of overbuilding due to long lead times	Less certainty over number, type, and location of future DR and DG providers	All utility customers in the region or market	State and federal policies that encourage DG and DR over central supplies
Security and Reliability	Resilience against cascading blackouts and terrorist acts	Greater cyber-security threats to smart grid	All system customers	Policies as in Row 1 above
Reduced System Operating Costs	More sources of regulation, ramping, and reactive power Lower resource or fuel price volatility Better management of distribution system voltage Fewer large-unit stops, starts, and idling periods		All system customers All system customers All system customers All utility customers in the region or market	In deregulated markets, some ability to sell these products separately Policies as in Row 1 above Good DR and DG pricing will pay directly for measurable locational benefits Policies as in Row 1 above
Environment, Energy Efficiency, and Social/Community	Greater use of dispersed renewable sources; land use changes	Economies of scale in large renewable projects	Owners of dispersed renewables and utility customers	Policies as in Row 1 above

# Normatização do setor

## Normatização e segurança

- Para que seja possível implantar as tecnologias previstas, os equipamentos elétricos devem interoperar em uma rede de comunicações onipresente;
- Os sistemas de resposta pelo lado da demanda devem receber as mensagens dos centros de operação em um formato digital;
- Para tanto, devem ser empregadas linguagens de comunicação normalizadas e mensagens formatadas;
- Os medidores eletrônicos inteligentes devem integrar as redes AMI de forma *plug&play*;
- Os sistemas computacionais dos usuários devem ser capazes de se comunicar com seus equipamentos elétricos.



# Normatização do setor

## Normatização e segurança

- Nos Estados Unidos, o instituto responsável pela elaboração das normas a serem empregadas pela indústria de energia elétrica, no caso de redes elétricas inteligentes, é o NIST – *National Institute of Standards and Technology*;

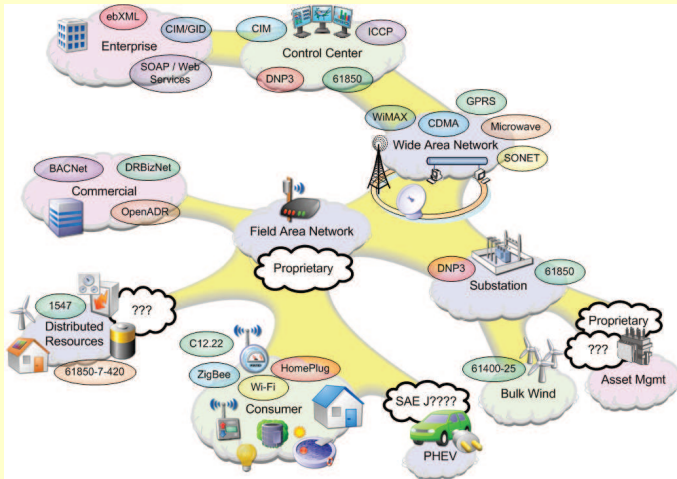
*There are so many standards to consider that his organization's primary responsibility is simply prioritizing the order in which standards should be developed.*

Patrick Gallagher  
deputy director of NIST

- Outras agências têm colaborado para a elaboração dessas normas (IEEE – *Institute of Electrical and Electronic Engineers* e IEC – *International Electrotechnical Commission*).

# Normatização do setor

## Normatização e segurança



# Segurança cibernética

## Avaliação do cenário

- Há uma preocupação crescente em permitir que equipamentos instalados nos consumidores de energia elétrica se comuniquem diretamente com os centros de operação;
- O departamento de defesa dos Estados Unidos tem investigado ataques cibernéticos em diversos setores da economia.

*But it's not just that hackers are getting more organized and more powerful. Grid breaches are occurring because new IT and communications technologies are making life easier for operators, and at the same time, more dangerous for customers.*

Tom Donahue  
cyber security analyst of CIA

# Incerteza das vendas

## Evolução das vendas da indústria

- A indústria de energia elétrica é uma indústria de capital intensivo;
- Para obter os financiamentos necessários ao seu desenvolvimento, é necessário manter-se economicamente saudável e apresentar perspectivas sólidas de crescimento;
- Em economias consolidadas o crescimento de energia elétrica é modesto porém positivo, o que ainda viabiliza o investimento nessa indústria;
- Porém, caso haja um declínio nas vendas de energia elétrica, certamente ficará mais difícil captar recursos.

# Incerteza das vendas

## Fatores que influenciam as vendas a longo prazo

- Existem seis fatores principais que influenciam as vendas a longo prazo. Três são positivos e três são negativos;
- Os fatores positivos são: crescimento populacional, crescimento econômico e aumento da eletrificação da sociedade, p. ex. a eletrificação das frotas de veículos (PHEV's – *Plugin Hybrid Electrical Vehicles* e PEV's *Plugin Electrical Vehicles*);
- Os fatores negativos são: aumento nos preços da energia elétrica, programas de eficiência energética e a implantação das tecnologias de *Smart Grids*.

# Possibilidades futuras

## Meios de transporte elétricos

- Nos cenários mais pessimistas, os PHEV's e PEV's ocuparão apenas 2% do montante de vendas anual de veículos nos Estados Unidos (200.000 a 300.000 veículos);
- Nos cenários mais otimistas, cerca de 50% do mercado (5.000.000 a 7.500.000 veículos);
- Os cenários mais otimistas indicam que serão necessários 282.000.000 [MWh] para alimentar esses veículos.

# Investimentos na indústria

## Previsões para a indústria de energia elétrica

- A seguir são apresentadas as previsões da EIA – *Energy Information Administration* acerca da evolução do consumo de energia elétrica, em bilhões de [kWh].

<i>EIA Reference Scenarios</i>		2008	<i>Average Annual</i>
		2030	<i>Growth Rate</i>
		4,527	0.89%
Adjustments	Added sales from plug-in hybrids	+21	
	Reduced sales from higher prices	-86	
	Reduced sales from stronger energy-efficiency policies	-398	
	Reduced sales from Smart Grid-enabled technologies	-181	
	Reduced sales from expanded nonutility-distributed generation	-30	
	Net Adjusted Sales 2030	3,853	0.15%

# Transmissão de energia elétrica

## Introdução

- A atividade de desenvolvimento, regulamentação, operação e manutenção dos sistemas de transmissão é bastante complexa e de grande interação política. Essa atividade é dividida nos seguintes tópicos:
  - Planejamento;
  - Regulamentação;
  - Financiamentos e alocação de custos;
  - Modernização do sistema existente;
  - Confiabilidade.



# Transmissão de energia elétrica

## A necessidade de construção de um sistema de transmissão

*If we want to implement a federal renewable portfolio standard, such as the 25% proposed by the Obama administration, or the current watered-down version of 15% [proposed] in the Senate, then we will need to look at both local and remote renewable resources.*

[solveclimate.com](http://solveclimate.com)

# Transmissão de energia elétrica

## A necessidade de fortalecimento da geração distribuída

*To be clear, very few people in the “West” want our open spaces permanently destroyed and industrialized while our built environment bakes and sprawls and is not allowed to produce its own energy, just so Big Energy can, once again, profiteer on our backs. What we want (unlike our legislators who are owned by Big Energy) is low interest loans for point of use solutions like efficiency and solar rooftops. The DOE determined, back in 2003, that 100% of the U.S. electricity needs could easily be met by using super-cheap thin film PV on existing rooftops. An additional 90% could be produced with the same material on in-city brownfields. So, 190% of U.S. electricity needs can be met in the built environment without eminent domain, transmission-caused SF6 increases in global warming, water waste, dead ecosystems or wasted taxpayer and ratepayer dollars.*

[solveclimate.com](http://solveclimate.com)

# Planejamento do sistema de transmissão

## Conflito de visões

- Existem duas visões bastante antagônicas no que se refere ao planejamento de novos sistemas de transmissão. Ambas levam em consideração os benefícios proporcionados pela utilização de fontes renováveis de energia;
- Por um lado, espera-se que os Estados Unidos construam um vasto sistema de transmissão (*national transmission superhighway*), que seja capaz de absorver a energia proporcionada por fontes renováveis;
- Por outro lado, espera-se que não sejam mais construídas linhas de transmissão e que as necessidades energéticas sejam supridas por geração distribuída próxima à carga;
- Ambas as alternativas devem coexistir e o sucesso de ambas depende do custo envolvido.

# Transmissão de energia elétrica

## Situação atual nos Estados Unidos

Data in Miles [and Regional %] for the 48 Contiguous States for Transmission Lines of 230 kV and Higher

Owner Type	Northeast /Midwest	Southeast	Southwest	Upper Plains	West	U.S. Total
Federal	21 [0%]	2,768 [7%]	0 [0%]	2,541 [17%]	18,214 [27%]	23,544 [14%]
Other Public Power	964 [3%]	2,079 [5%]	731 [5%]	1,798 [12%]	5,525 [8%]	11,098 [7%]
Cooperative	0 [0%]	2,993 [8%]	387 [2%]	2,908 [20%]	4,496 [7%]	10,784 [6%]
Subtotal – All Public Power and Cooperatives	986 [3%]	7,840 [20%]	1,118 [7%]	7,247 [49%]	28,235 [42%]	45,426 [27%]
Independent Transmission Companies	4,640 [15%]	0 [0%]	351 [2%]	1,045 [7%]	0 [0%]	6,036 [4%]
Investor Owned Utilities	24,968 [81%]	31,412 [79%]	12,408 [80%]	5,402 [36%]	37,034 [56%]	111,223 [66%]
N/A	260 [1%]	264 [1%]	1,686 [11%]	1,148 [8%]	1,250 [2%]	4,609 [3%]
Total	30,853 [100%]	39,516 [100%]	15,563 [100%]	14,843 [100%]	66,519 [100%]	167,294 [100%]

# Planejamento do sistema de transmissão

## Panorama dos Estados Unidos

*As evidenced by the absence of major transmission projects undertaken in North America over the past 10 to 15 years, utilities have found ways to increase the utilization of their existing facilities to meet increasing demands without adding significant high-voltage equipment. Without intervention, this trend is likely to continue. Pushing the system harder will undoubtedly increase reliability challenges. Special protection schemes may be relied on more to deal with particular challenges, but the system still will be less able to withstand unexpected contingencies. A smaller transmission margin for reliability makes the preservation of system reliability a harder job than it used to be. The system is being operated closer to the edge of reliability than it was just a few years ago.*

Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations.  
U.S.-Canada Power System Outage Task Force, Final Report on the August 14, 2003.

# Planejamento do sistema de transmissão

## Panorama dos Estados Unidos

- Conforme apresentado, pode-se presumir que haja a necessidade de construção de novas linhas de transmissão, para mitigar os efeitos do congestionamento de certas áreas do sistema elétrico;
- Considerando essa hipótese, surgem algumas questões: Onde deve-se construir as novas linhas de transmissão? Qual a prioridade? Que tipo de linhas devem ser construídas? Qual o prazo para sua construção?;
- A prioridade para a construção de novas linhas de transmissão deve atender os seguintes objetivos:
  - Expansão aos locais onde fontes renováveis são abundantes;
  - Redução no congestionamento da rede, visando o aumento na confiabilidade do sistema como um todo.

# Planejamento do sistema de transmissão

## Expansão aos locais onde há fontes renováveis de energia

- A expansão dos sistemas de transmissão para atender a demanda por fontes renováveis de energia pode ser executada com a criação de uma *transmission superhighway*;
- Deve-se levar em consideração também a possibilidade de interligação completa dos sistemas existentes e construção de novas linhas de transmissão apenas para atender aos casos específicos;
- Vale ressaltar que, especificamente no caso dos Estados Unidos, o potencial eólico encontra-se bastante disponível no centro (cinturões agrícolas) enquanto o potencial solar encontra-se no sudoeste (regiões desérticas), ambas regiões com baixa densidade demográfica;

# Planejamento do sistema de transmissão

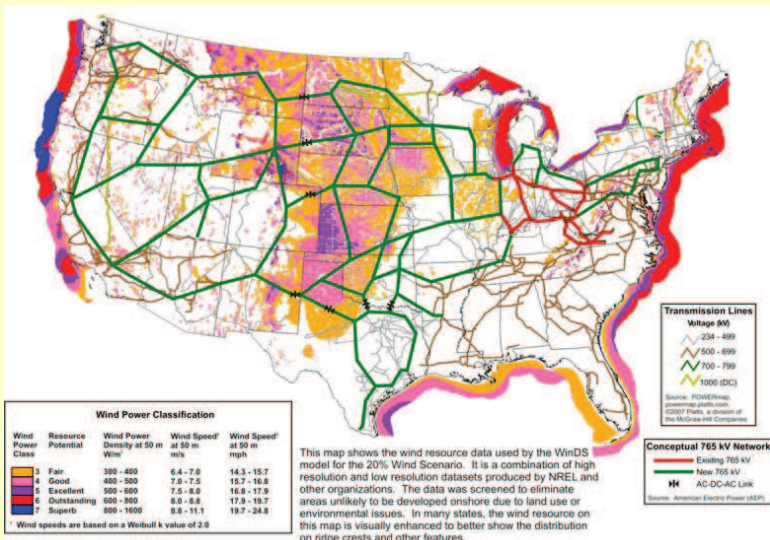
## Expansão aos locais onde há fontes renováveis de energia

- A vantagem proporcionada por essa abordagem é:
  - A expansão pode acelerar o desenvolvimento das tecnologias que utilizam fontes renováveis;
- As desvantagens proporcionadas por essa abordagem são:
  - Infraestrutura de custo bastante elevado, visto que uma parte das fontes renováveis de energia não é capaz de produzir energia de maneira constante;
  - Por essa razão, o emprego dessa abordagem pode reduzir a confiabilidade do sistema;
  - Além disso, não soluciona o problema de congestionamento.



# Planejamento do sistema de transmissão

## Transmission superhighway



# Planejamento do sistema de transmissão

## Redução no congestionamento da rede e aumento de confiabilidade

- O congestionamento é caracterizado pelo carregamento excessivo das linhas de transmissão e pode ser minimizado com o emprego de “caminhos alternativos” ou com a alteração na operação das usinas de geração;
- Entretanto, essa alteração pode implicar a utilização de usinas que possuem custo de produção mais elevado;
- Segundo o DOE, o custo com o congestionamento das redes pode atingir a ordem de centenas de milhões de dólares até alguns bilhões;
- A confiabilidade de um sistema de transmissão consiste na capacidade de atendimento à demanda, de forma contínua, bem como na resiliência para suportar grandes falhas (p. ex. a isolação de uma linha de transmissão na ocorrência de um defeito).

# Regulamentação do sistema de transmissão

## Panorama dos Estados Unidos

- A regulamentação dos sistemas de transmissão de energia elétrica é atividade que compete à FERC;
- Sua atuação consiste no estabelecimento das tarifas das linhas de transmissão, bem como na aprovação para a construção de novas linhas de transmissão;
- Porém, a concessão para a construção de novas linhas depende da aprovação das agências estaduais e, no caso de linhas que passam por diversos estados, a aprovação individual de cada estado.

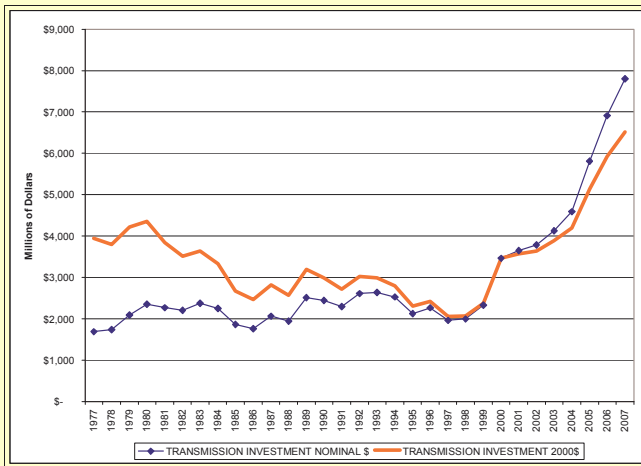
# Regulamentação do sistema de transmissão

## Panorama dos Estados Unidos

- Os críticos argumentam que a necessidade de aprovação individual de cada estado pode atrasar, ou até mesmo impedir, a construção de novas linhas de transmissão;
- A solução adotada pelos Estados Unidos, no *Energy Policy Act of 2005* – EPACT05, consistiu em:
  - Relatórios trienais elaborados pelo DOE estimam o congestionamento do sistema de transmissão e, com base nesses relatórios pode-se estabelecer *National Interest Electric Transmission Corridors* – NIETC;
  - A concessão para a construção de linhas de transmissão nesses corredores pode ser fornecida pela FERC, desde que o(s) estado(s) não se manifeste(m) em até um ano após a solicitação da concessionária.

# Financiamentos e alocação de custos da transmissão

## Panorama dos Estados Unidos



# Financiamentos e alocação de custos da transmissão

## Panorama dos Estados Unidos

- Existem dois problemas associados à construção de novas linhas e sistemas de transmissão: captação de recursos e alocação de custos;
- Captação de recursos:
  - Normalmente a captação de recursos para a construção de novas linhas de transmissão depende de garantias quanto à quantidade de energia que será transmitida e sua qualidade;
  - A construção de usinas de geração de energia elétrica para o aproveitamento de fontes renováveis é demorada e desprovida de recursos. Portanto, não há garantia de interconexão dessas usinas ao sistema interligado.

# Financiamentos e alocação de custos da transmissão

## Panorama dos Estados Unidos

- Alocação de custos:
  - A alocação de custos entre consumidores que utilizam as linhas de transmissão é outro problema que agrava a construção de novas linhas de transmissão;
  - Normalmente, os novos empreendimentos em transmissão submetidos à aprovação da FERC devem apresentar um plano de alocação de custos, e não há recomendações sobre como proceder na sua elaboração;
  - Uma forma é dividir os custos entre todos os usuários dos sistemas interligados, o que é comumente denominado “socialização dos custos”.

# Modernização dos sistemas de transmissão

## Possibilidades futuras

- A modernização dos sistemas de transmissão consiste na utilização de ferramentas que viabilizem a operação segura desses sistemas, sob quaisquer situações;
- Nesse contexto, espera-se que essas ferramentas possuam os seguintes recursos:
  - Monitoramento e controle das condições operativas dos ativos, em tempo real;
  - Diagnóstico automatizado das ocorrências, para auxílio aos operadores das redes de transmissão;
  - Minimização das ocorrências que podem produzir efeitos em cascata;



# Modernização dos sistemas de transmissão

## Possibilidades futuras

- Nesse contexto, espera-se que essas ferramentas possuam os seguintes recursos:
  - Habilidade de acomodação automática de novos produtores de energia elétrica, com a redução no tempo dispendido para estudos para a interconexão;
  - Capacidade de gerenciar geração proveniente de fontes renováveis de energia elétrica, considerando as incertezas no volume de produção.

# Confiabilidade dos sistemas de transmissão

## Questões práticas

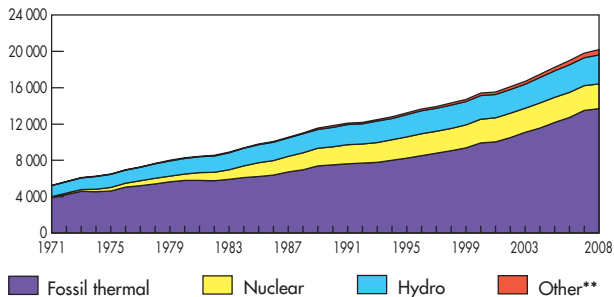
- Para garantir a confiabilidade dos sistemas de transmissão é importante a manutenção de uma base de dados confiável, que permita a análise do seu comportamento ao longo do tempo. Como resultado, pode-se reavaliar as práticas e normas adotadas, de modo a melhorar os índices de continuidade de serviço;
- A modernização dos sistemas de transmissão pode postergar a necessidade de investimentos em novas linhas de transmissão, sem produzir impactos na confiabilidade do sistema;
- Mudanças na matriz energética, com a inclusão de fontes de energia renováveis, e o emprego de geração distribuída devem ser avaliadas para não produzir impactos negativos nesses sistemas.

# Geração de energia elétrica

## Matriz energética mundial

- A matriz energética mundial é baseada em fontes fósseis.

Evolution from 1971 to 2008 of world electricity generation\* by fuel (TWh)

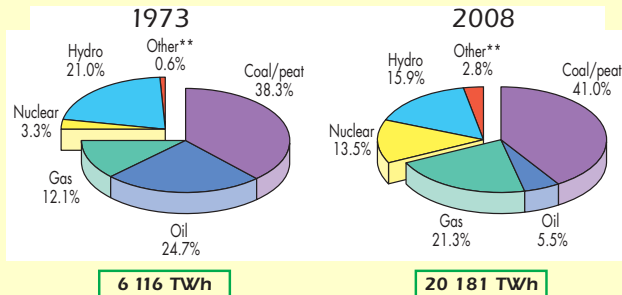


# Geração de energia elétrica

## Matriz energética mundial

- A matriz energética mundial é baseada em fontes fósseis.

### 1973 and 2008 fuel shares of electricity generation\*



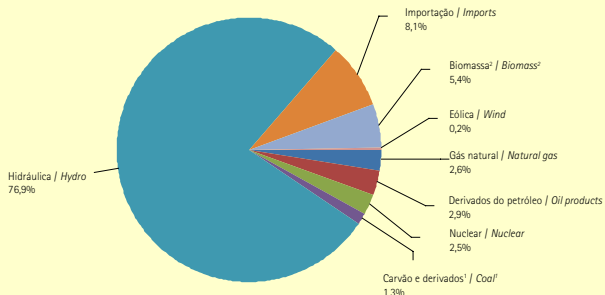
# Geração de energia elétrica

## Matriz energética brasileira

- A matriz energética brasileira não acompanha a matriz energética mundial.

Gráfico 1.1.1 | Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2009

Chart 1.1.1 | Domestic Electricity Supply by Source – 2009



# Geração de energia elétrica

## Carvão

- Conforme ilustrado, o uso do carvão para a geração de energia elétrica ainda ocupa posição de destaque na matriz energética mundial;
- Entretanto, essas usinas são responsáveis pela grande maioria das emissões de gases do efeito estufa produzidos pela indústria de energia elétrica;
- Para reduzir seu impacto no meio ambiente, deve-se investir no desenvolvimento de mecanismos artificiais de captura e sequestro de carbono;
- Atualmente existem três tecnologias sendo empregadas para maximizar o uso do carvão no processo de produção de energia elétrica e, assim, facilitar o processo de captura de carbono;

# Geração de energia elétrica

## Carvão

- As tecnologias são:
  - Pulverização do carvão: as usinas queimam carvão pulverizado em altas temperaturas, com o objetivo de aprimorar o processo de queima do combustível e o carbono é capturado em filtros especialmente projetados para tal;
  - Conversão para gás natural: por meio de processos químicos o carvão é convertido em gás e o material sólido resultante do processo, é considerado o resultado da captura do carbono;
  - Oxi-combustão: a utilização dessa técnica permite que o carvão atinja altas temperaturas, melhorando o seu processo de queima e, em consequência, o processo de captura de carbono.

# Geração de energia elétrica

## Carvão

- O sequestro de carbono é uma tecnologia ainda mais incipiente e ainda não há alternativas em escala comercial. Atualmente, os mecanismos de sequestro de carbono são:
  - Armazenamento geológico: injeção do gás carbônico no estado supercrítico diretamente em formações geológicas subterrâneas, tais como poços de petróleo esgotados;
  - Armazenamento oceânico: injeção de gás carbônico a profundidades elevadas, dando origem a lagos de gás carbônico, ou outras formas de armazenagem;
  - Armazenamento mineral: produção de carbonatos a partir de reações exotérmicas entre o gás carbônico e óxidos metálicos. É o mesmo processo que, naturalmente, dá origem ao calcário.



# Geração de energia elétrica

## Carvão

- Além dos problemas de ordem técnica e possivelmente jurídica, há problemas de ordem logística para os mecanismos de sequestro de carbono;
- Supondo que os Estados Unidos consigam capturar no estado supercrítico, 60% do gás carbônico produzido pelas suas usinas a carvão, serão produzidos vinte milhões de barris do gás nesse estado, por dia;
- Para que seja possível efetuar o seu armazenamento geológico, seria necessário investir na construção de aproximadamente quarenta e cinco mil quilômetros de dutos;
- Além dos problemas ambientais, é consenso que as reservas estão se esgotando, apesar da abundância de carvão em várias regiões do planeta.

# Geração de energia elétrica

## Gás natural

- Nos últimos anos, o gás natural têm ocupado posição de destaque na matriz energética global;
- O gás natural é utilizado como combustível em usinas termoelétricas. Há dois tipos de usinas que utilizam gás natural: usinas de ciclo simples; e de ciclo combinado;
- As usinas de ciclo simples possuem baixo rendimento e, portanto, não operam de maneira constante. No entanto, essas usinas possuem grande flexibilidade e, portanto, são empregadas para fornecer energia durante os horários de pico;
- As usinas de ciclo combinado possuem um rendimento de cerca de 60% e, portanto, são utilizadas de maneira constante.

# Geração de energia elétrica

## Gás natural

- Termoelétricas a gás de ciclo combinado apresentam um custo bastante reduzido quando comparadas com outras alternativas. Nos Estados Unidos, o custo atual encontra-se em aproximadamente  $948 \frac{US\$}{kW}$  de capacidade;
- Previsões para o ano de 2030 indicam que o custo pode reduzir para aproximadamente  $717 \frac{US\$}{kW}$  de capacidade, com um aumento de 6% na sua eficiência;
- Entretanto, vale ressaltar que o custo da energia elétrica produzida a partir do gás natural fica sujeito à variação no custo do gás e na sua disponibilidade.

# Geração de energia elétrica

## Nuclear

- O emprego de energia proveniente da fissão nuclear para a produção de energia elétrica ocupa posição de destaque na matriz energética de alguns países. Principalmente França, Japão, China e Estados Unidos;
- A utilização desse tipo de energia é bastante controversa e há diversos setores da sociedade que se opõem à sua construção devido aos riscos de acidentes e às políticas para a armazenagem dos resíduos;
- O custo do combustível dessas usinas é bastante reduzido, quando comparado com as alternativas de combustíveis fósseis, entretanto, o custo de construção é muito elevado;
- Atualmente, o custo atual encontra-se em aproximadamente  $4000 \frac{\text{US\$}}{\text{kW}}$  de capacidade, podendo reduzir cerca de 25% até 2030.

# Geração de energia elétrica

## Hidroelétrica

- Atualmente a exploração do potencial hidráulico resume-se a países que têm potencial e capital para empreender;
- Normalmente os países que possuem a indústria elétrica consolidada, provavelmente esgotaram todo o potencial de grande monta;
- No entanto, os países em desenvolvimento que poderiam usufruir dos benefícios desse potencial, sofrem grande oposição à sua exploração;
- Assim como no caso das usinas nucleares, o custo de construção das usinas hidrelétricas é bastante elevado.

# Geração de energia elétrica

## Eólica

- O emprego da energia eólica para a produção de energia elétrica é um excelente exemplo para ilustrar o potencial das fontes renováveis de energia;
- A tecnologia utilizada está relativamente consolidada e o modelo de negócios também, portanto é bastante atrativa;
- Fazendas eólicas localizadas próximas às linhas de transmissão, submetidas a regimes de vento de aproximadamente  $15 \frac{km}{h}$  durante 25% do tempo, possuem custo de capacidade similar às usinas a gás;
- A medida que a tecnologia avança, espera-se que haja uma redução nesse custo entre 10-15%.
- Porém, é importante ressaltar que o regime de ventos não é constante e nem sempre é adequado para atender a curva de demanda dos consumidores.

# Geração de energia elétrica

## Energia solar concentrada

- A energia solar concentrada consiste na utilização de painéis concavos refletores, que são responsáveis pela concentração dos raios solares;
- Os raios solares são concentrados para produzir calor em compartimentos ou tubulações, e a energia elétrica é obtida com o uso de turbinas a vapor convencionais;
  - Assim como no caso das fazendas eólicas, o custo da capacidade das usinas de energia solar concentrada estão diretamente relacionados à disponibilidade de acesso ao sistema de transmissão;
  - Esse tipo de tecnologia é empregado em larga escala e ocupa grandes áreas;
  - Além disso, utiliza água no processo e produz apenas durante o dia.

# Geração de energia elétrica

## Energia solar concentrada





# Geração de energia elétrica

## Outras formas

- Existem outras formas de geração de energia empregadas atualmente:
  - Células fotovoltaicas: há dois tipos de células, os painéis solares tradicionais e painéis solares de película fina;
  - Biomassa: consiste na queima dos resíduo da atividade humana para produção de energia elétrica;
  - Geotérmica: utiliza fontes de água aquecida pela terra;
  - Oceanos: pode-se utilizar a energia das marés, das ondas, a energia termal oceânica.

# Geração de energia elétrica

## Escolhendo entre as alternativas

**Table 8-1. Supply Technologies: Average Costs and Major Issues (All Costs Adjusted for Inflation)**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	<i>Observed Cost Today** Including Tax Credits (¢/kWh)</i>	<i>Observed Cost 2030 (¢/kWh), Excluding Current Tax Credits (no carbon costs)</i>	<i>Observed Cost 2030 (¢/kWh), Including Current Tax Credits (\$50/Ton cost CO<sub>2</sub>)</i>	<i>Cost Depends Strongly on . . .</i>	<i>Indirect Utility-Incurred Costs or Benefits</i>	<i>Other Issues</i>
<b>Large-Scale Sources</b>						
(1) Natural Gas Combined Cycle*	4.3–7.8	4.2–7.7	6.2–7.7*	Price of natural gas  Price of carbon emissions		Supplies seem ample, but concerns over hydro-fracturing  Over reliance on gas-reliability and price shocks
(2) Coal with Carbon Capture and Sequestration (CCS) <sup>†, ‡</sup>	7.7–15	6.6–15	7.1–15	Price of coal  Technical progress  Tax credits and other subsidies	Cost of carbon emissions permits under cap-and-trade rules and other greenhouse gas limits  Technical risks of CCS lead to higher financial and regulatory risks	Technology must prove costs-effective at scale  New questions about size of resource base and environmental concerns over mining practices  Critical need for sequestration regulatory framework  Scale and timing of sequestration of infrastructure

# Geração de energia elétrica

## Escolhendo entre as alternativas

Table 8-1. Continued

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	<i>Observed Cost Today** Including Tax Credits (¢/kWh)</i>	<i>Observed Cost 2030 (¢/kWh), Excluding Current Tax Credits (no carbon costs)</i>	<i>Observed Cost 2030 (¢/kWh), Including Current Tax Credits (\$50/Ton cost CO<sub>2</sub>)</i>	<i>Cost Depends Strongly on . . .</i>	<i>Indirect Utility-Incurred Costs or Benefits</i>	<i>Other Issues</i>
(3) Nuclear Power <sup>##</sup>	5.7–13	5.7–13	5.7–13	Cost of construction  Loan guarantees or other supports	High levels of financial and regulatory risk	Challenges to Supply chain  Waste disposal
(4) Onshore Wind	4.6	5.1	5.1	Quality of wind at each site  Wind turbine prices  Tax credits and other supports	Output variability requires investments in balancing resources and new operating procedures  Costs of transmission expansion	Regulatory approvals for transmission  Technical limits on amounts of wind that can be integrated into the grid
(5) Offshore Wind	8.0	8.0	8.0	Quality of wind at each site  Wind turbine prices	Output variability requires investments in balancing resources and new operating procedures	Same as onshore wind

# Geração de energia elétrica

## Escolhendo entre as alternativas

				Overall construction costs	Transmission is critical	
				Tax credits and other supports		
(6)	Photovoltaic Solar (Large-Scale Plant)	14.6	13.2	13.2	Costs and efficiency of PV cells	Output variability requires investments in balancing resources and new operating procedures
				Tax credits and other supports		Cost of backup/storage integration; inherent system limits
						Transmission is critical
(7)	Concentrating Solar Power Plants	15.2–26.6	14.4	14.4	Construction costs and plant performance	Cost of transmission to sunny areas
				Tax credits and other supports		Requires large land area
						Transmission is critical
						Technology needs verification
						Water use can be an issue
						In-plant storage is valuable but as yet unproven

# Geração de energia elétrica

## Escolhendo entre as alternativas

Table 8-1. Continued

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	<i>Observed Cost 2030 (¢/kWh), Today**, Including Tax Credits (¢/kWh)</i>	<i>Observed Cost 2030 (¢/kWh), Excluding Current Tax Credits (no carbon costs)</i>	<i>Observed Cost 2030 (¢/kWh), Including Current Tax Credits (\$50/Ton cost CO<sub>2</sub>)</i>	<i>Cost Depends Strongly on . . .</i>	<i>Indirect Utility-Incurred Costs or Benefits</i>	<i>Other Issues</i>
(8) Biomass Power Plants	5.6	5.6	6.1	Cost of fuel, which is often site specific  Tax credits and other supports		Energy crops must be grown sustainably and not compete with food production
(9) Geothermal Power Plants	5.4	6.6	6.6	Quality of natural heat resource  Tax credits and other supports		Limited to high-potential sites in western United States
<b>Small-Scale Sources</b>						
(1) Natural Gas Combined Heat and Power®	3.9	3.4	6.1	Price of natural gas, site-specific conditions, and state regulations  Tax credits	Reduced utility control can lead to higher system balancing costs and backup power requirements	Constrained by practical difficulties, land use patterns, and some utility policies

# Geração de energia elétrica

## Escolhendo entre as alternativas

	9.2	7.3	10.9		Avoided upstream generation, transmission, and distribution investments; may be included in observed cost	
(2) Natural Gas Microturbine				Price of natural gas	Same as above	Unfamiliar technology with more complex installation
				Technical progress		
				Tax Credits		
(3) Natural Gas Fuel Cell	19.1	13.7	13.7	Price of natural gas		
				Technical progress		
(4) Photovoltaic Solar (on Rooftop)	33.9	32.9	3.29	Costs and efficiency of PV cells	Output variability requires investments in balancing resources and new operating procedures	Government and utility incentives play a critical role in making systems affordable
				Site-specific installation costs		
				Tax credits and other supports	Avoided upstream generation, transmission, and distribution investments; may be included in observed cost	

# Geração de energia elétrica

## Escolhendo entre as alternativas

Table 8-1. Continued

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	<i>Observed Cost Today** Including Tax Credits (€/kWh)</i>	<i>Observed Cost 2030 (€/kWh), Excluding Current Tax Credits (no carbon costs)</i>	<i>Observed Cost 2030 (€/kWh), Including Current Tax Credits (\$50/Ton cost CO<sub>2</sub>)</i>	<i>Cost Depends Strongly on . . .</i>	<i>Indirect Utility-Incurred Costs or Benefits</i>	<i>Other Issues</i>
(5) Small-Scale Wind Turbines	20.2	13.7	13.7	Quality of wind at each site  Wind turbine prices  Tax credits and other supports	Output variability requires investments in balancing resources and new operating procedures  Avoided upstream generation, transmission, and distribution investments; may be included in observed cost	Government and utility incentives play a critical role in making systems affordable

## Notes:

\* Lower price based on \$4/MMBtu gas; upper price \$10/MMBtu; see Appendix 2.

<sup>a</sup> Coal prices assumed constant at \$21/MWh (2008 dollars).

\*\* Costs do not reflect renewable energy credits.

<sup>o</sup> Reflects a 50% reduction in costs as a credit for value of heat produced.

<sup>u</sup> Upper end reflects the range in American's Energy Future, National Research Council, 2009, and is *not* adjusted for technical progress by 2030.

Sources: Author's calculations; see Appendix 2.

# Geração de energia elétrica

## Projeção da matriz energética em 2030

**Table 9-1.** Projected Electric Power Resource Mix in Five Assorted Studies (2030)

Percentage of Supply From . . .		<i>Environmental Protection Agency</i>	<i>Google.org</i>	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>	<i>Union of Concerned Scientists</i>	<i>Charles River Associates</i>
Fossil Fuels	Coal with Coal Capture & Sequestration	5%	0%	0%	0%	3%
	Coal	46%	0%	33%	6%	38%
	Natural Gas & Oil	13%	24%	28%	58%	16%
	<b>Subtotal</b>	<b>64%</b>	<b>24%</b>	<b>61%</b>	<b>64%</b>	<b>57%</b>
Nuclear	Nuclear Energy	20%	9%	10%	12%	27%
	<b>Subtotal</b>	<b>20%</b>	<b>9%</b>	<b>10%</b>	<b>12%</b>	<b>27%</b>
Renewables	Hydro	7%	6%	8%	4%	7%
	Wind		31%	12%		
	Solar	9%	21%	5%	21%	9%
	Other Renewables & Distributed Generation		8%	5%		
	<b>Subtotal</b>	<b>16%</b>	<b>67%</b>	<b>30%</b>	<b>24%</b>	<b>16%</b>
	<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Note: Numbers may not total to one hundred due to rounding.

#### Sources:

"EPA Analysis of the American Clean Energy and Security Act of 2009, H.R. 2454 in the 111th Congress," U.S. Environmental Protection Agency, June 23, 2009. Available at: [http://www.epa.gov/climatechange/economics/pdfs/HR2454\\_Analysis.pdf](http://www.epa.gov/climatechange/economics/pdfs/HR2454_Analysis.pdf)

Jeffrey Greenblatt, "Clean Energy 2030: Google's Proposal for Reducing U.S. Dependence on Fossil Fuels," Google.com, October 6, 2008. Available at: <http://knol.google.com/k/jeffery-greenblatt/clean-energy-2030/15x31uzlqeo5n/1>

Patrick Sullivan, Jeffrey Logan, Lori Bird, and Walter Short, "Comparative Analysis of Three Proposed Renewable Electricity Standards," National Renewable Energy Lab, May 2009. Available at: <http://www.nrel.gov/docs/fy09osti/45877.pdf>

Rachel Cleetus, Steven Clemmer, and David Friedman, "Climate 2030: A National Blueprint for a Clean Energy Economy," Union of Concerned Scientists, May 19, 2009. Available at: [http://www.ucsusa.org/global\\_warming/solutions/big\\_picture\\_solutions/climate-2030-blueprint.html](http://www.ucsusa.org/global_warming/solutions/big_picture_solutions/climate-2030-blueprint.html)

Scott J. Bloomberg and Anne E. Smith, "Analysis of H.R. 2454 (the Waxman-Markey)," Charles River Associates, June 17, 2009.

Available at: [http://www.nma.org/pdf/040808\\_crai\\_presentation.pdf](http://www.nma.org/pdf/040808_crai_presentation.pdf)