

# ESTRUTURA DO SEP

PROF. DR. ALEXANDRE RASI AOKI / MATEUS DUARTE  
TEIXEIRA

# Agenda

- Sistemas Elétricos de Potência
- Evolução Histórica da Transmissão de Energia Elétrica
- Tensões de Transmissão – Padronização
- Procedimentos de Rede do ONS

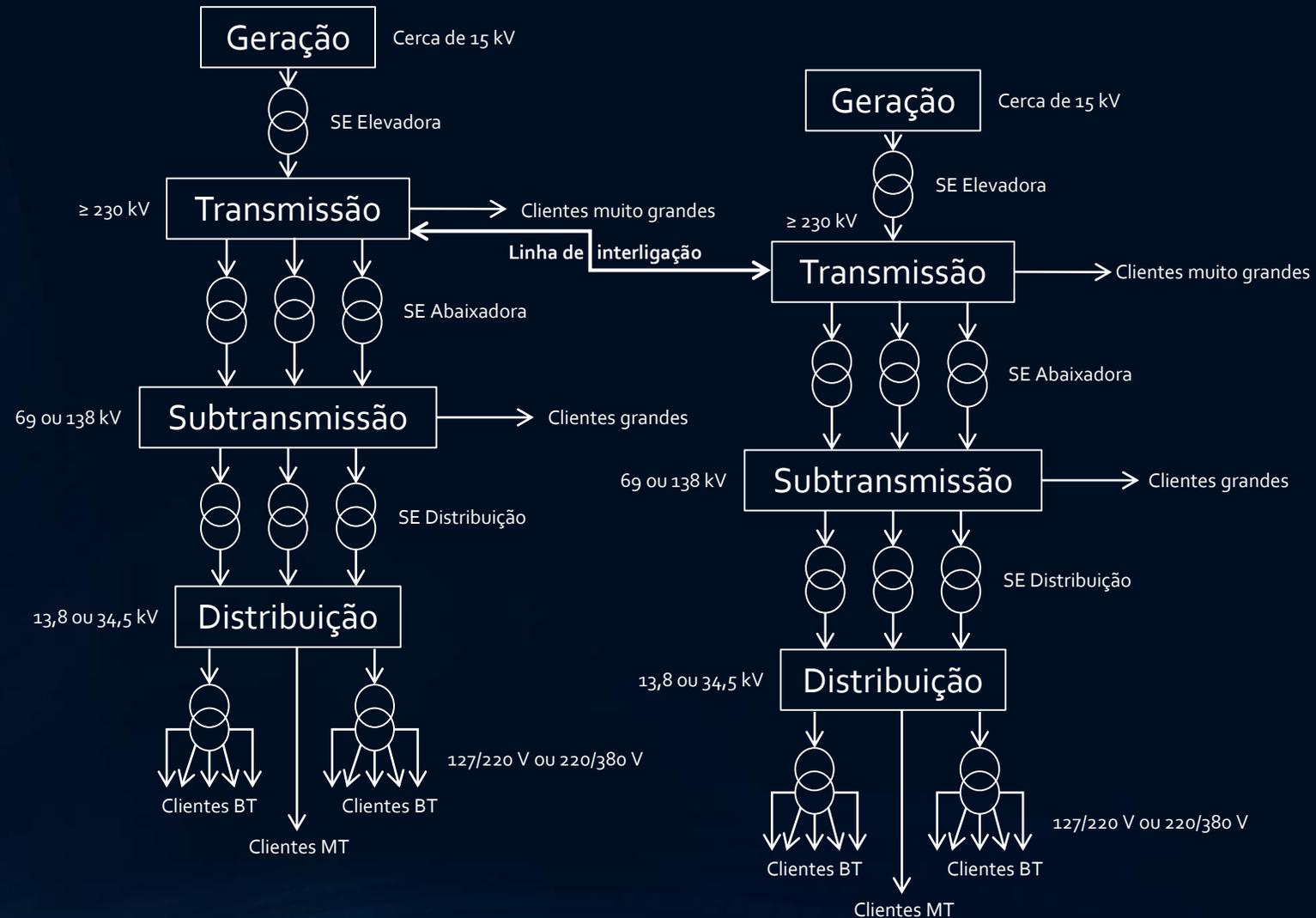


# SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

# Sistemas Elétricos de Potência

- Conjunto de todas as instalações e equipamentos destinados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica
  - Distribuição
  - Subtransmissão (Alta tensão da distribuição)
  - Transmissão
  - Interligações
  - Geração

# Sistemas Elétricos de Potência



# AS DIFERENTES MATRIZES ENERGÉTICAS

# Sistemas Elétricos de Potência

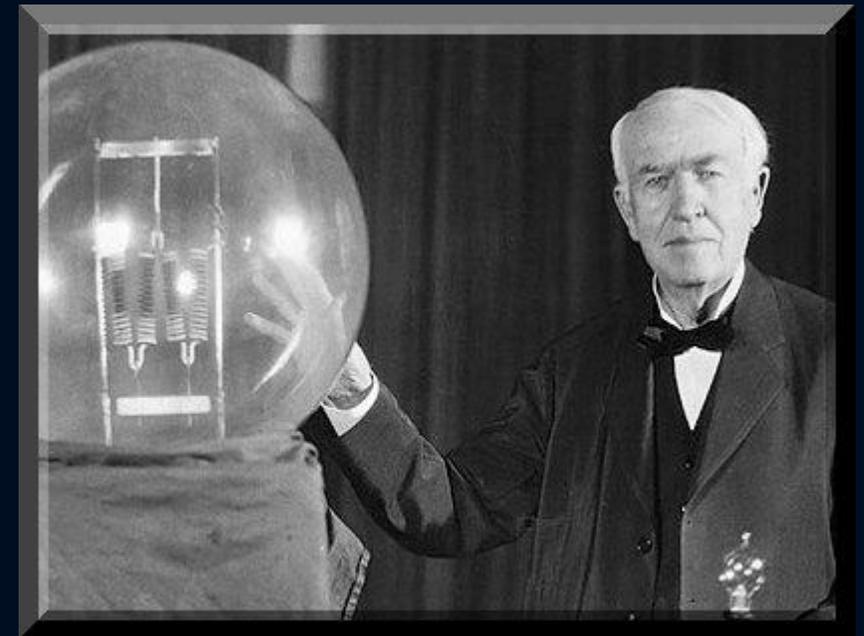
## Quadro 1.1 » Tipos de usinas geradoras de energia elétrica

Usina <b>hidroelétrica</b>	Construída onde existe um grande potencial energético por meio de água fluvial
Usina <b>solar</b>	Aproveita o potencial energético via raios solares
Usina <b>eólica</b>	Energia proveniente dos ventos
Usina <b>termoelétrica</b>	Funciona com algum tipo de combustível fóssil como petróleo, gás natural ou carvão
Usina <b>nuclear</b>	Utiliza materiais radioativos que, por meio de uma reação nuclear, produzem calor
Usina <b>maremotriz</b>	Utiliza a energia contida no movimento de massas de água devido às marés
Usina <b>geotérmica</b>	Energia gerada a partir do calor proveniente do interior da Terra.

# EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

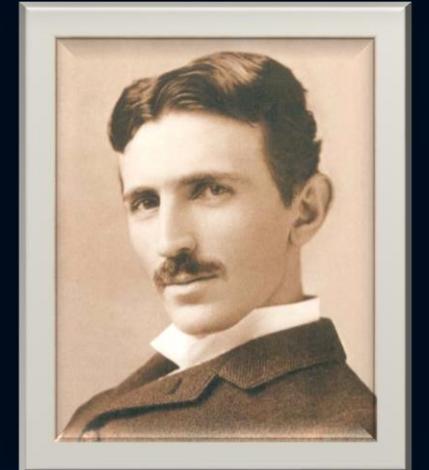
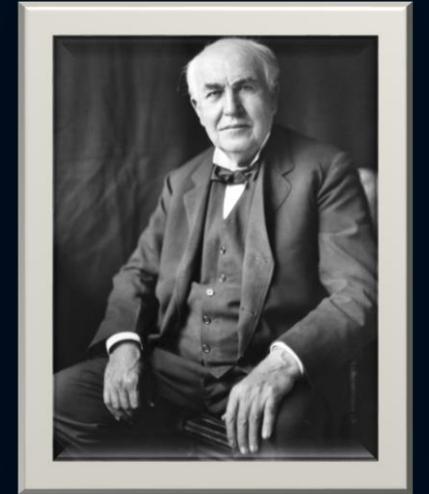
# Evolução Histórica da Transmissão de Energia Elétrica

- 1879 Edison inventou a lâmpada a filamento
- 1881 Tesla concebeu o motor CA
- 1882 Edison inaugurou a central elétrica Pearl – Nova York
- 1884 Invenção do transformador CA



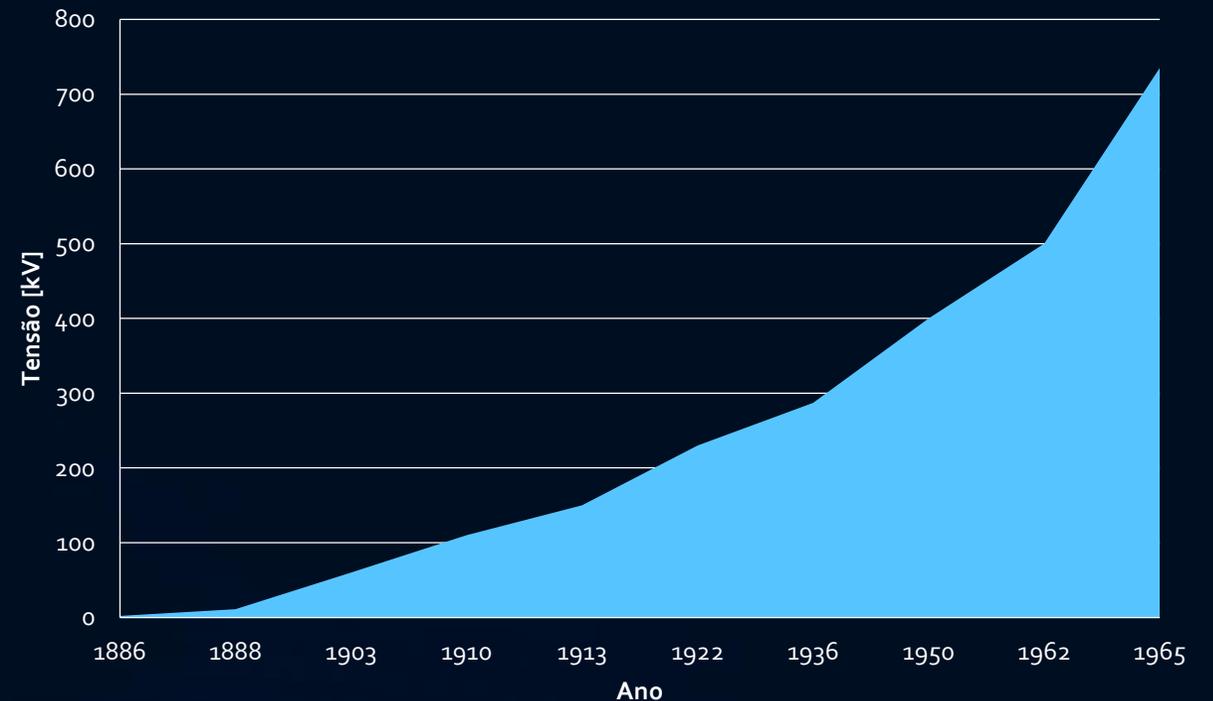
# Evolução Histórica da Transmissão de Energia Elétrica

- 1888 – 1890 Batalha das correntes
  - Edison – Corrente Contínua
    - Problema: segurança versus potência
    - Geração distribuída
    - Dificuldade com fornecimentos em longas distâncias
  - Tesla – Corrente Alternada
    - Problema: construir um motor CA
    - Tensão pode ser aumentada e reduzida com transformadores



# Evolução Histórica da Transmissão de Energia Elétrica

- 1886 – linha monofásica com 29,5 km na Itália
- 1888 – linha de 11 kV trifásica com 180 km na Alemanha
- 1903 – LTs de 60 kV
- 1910 – LTs de 110 kV
- 1913 – LTs de 150 kV
- 1922 – LTs de 230 kV
- 1936 – LTs de 287 kV
- 1950 – LT de 400 kV com 1000 km na Suécia
- 1962 – LT de 500 kV nos EUA
- 1964 e 1967 – LT de 735 kV no Canadá



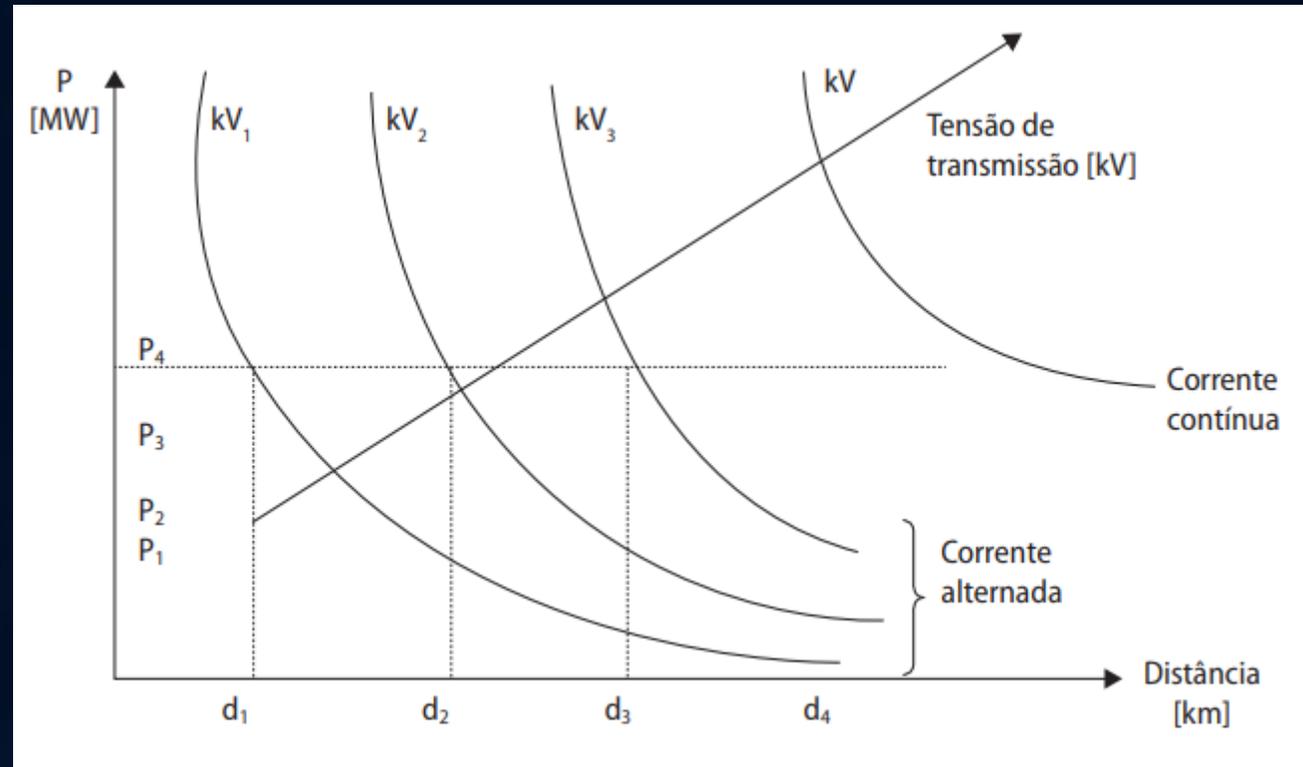
# TENSÕES DE TRANSMISSÃO - PADRONIZAÇÃO

# Tensões de Transmissão - Padronização

**Tabela 1 – Tensão máxima operativa**

Classe de tensão [kV]	Tensão máxima operativa [kV]
230	242
345	362
440	460
500 e 525	550
765	800

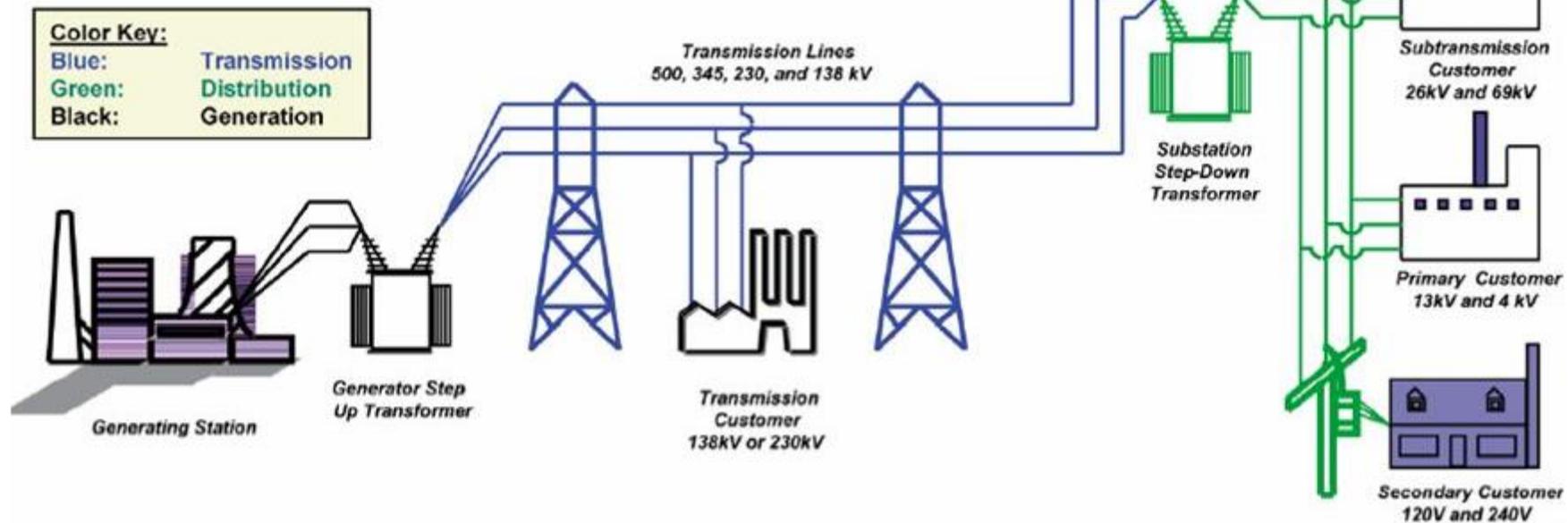
# Corrente Alternada ou Corrente Contínua?



# DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A estrutura do sistema elétrico de potência compreende os sistemas de geração, transmissão, distribuição e subestações de energia elétrica.

### Basic Structure of the Electric System



**STATE-OWNED**

- CEA
- CEB
- CEEE
- Celesc
- Cemig
- Cemig (Light)
- Copel
- Eletrobras

**PRIVATE**

- Energisa – Brazil
- Equatorial – Brazil
- Oliveira Energia/ATEM – Brazil
- CPFL – China (State Grid)
- Enel – Italy
- EDP – Portugal
- Neoenergia (Iberdrola) – Spain



# FLUXO DE CARGA

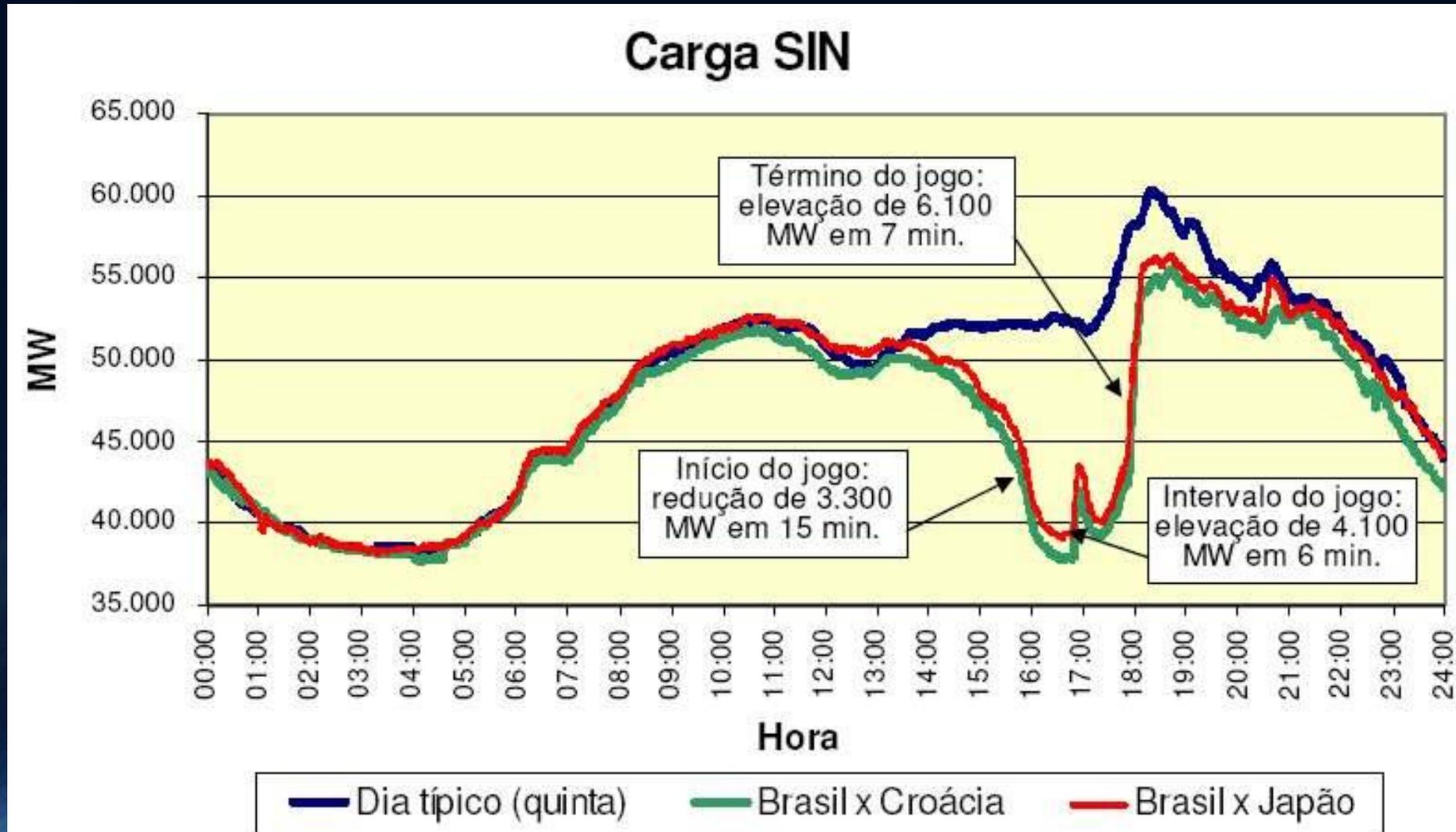
# Fluxo de Carga

- Havendo o transporte de energia, seja primária ou secundária, está estabelecido um fluxo de carga entre a fonte de energia e os consumidores.
- Esse fluxo é variável, pois, como o consumo varia a cada momento em função das necessidades dos consumidores, a geração também terá que ser variável.
- A cada instante, a geração de todas as fontes do sistema elétrico terá que se adequar à carga solicitada pelos consumidores.
- Em qualquer análise do sistema elétrico, é fundamental que se conheça o fluxo de carga entre geração e consumo

# Equação fundamental de geração e consumo de energia elétrica

$$\begin{array}{l} \text{Energia Elétrica} \\ \text{Gerada} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Energia Elétrica} \\ \text{Consumida} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Energia Elétrica} \\ \text{Perdida} \end{array}$$

# Curva de carga COPA 2006



# PROCEDIMENTOS DE REDE DO ONS

# Procedimentos de Rede do ONS

- São documentos de caráter normativo elaborados pelo ONS
- Definem os procedimentos e os requisitos necessários à realização das atividades de:
  - Planejamento da operação eletroenergética
  - Administração da transmissão
  - Programação e operação em tempo real no âmbito do SIN
- Os principais objetivos dos Procedimentos de Rede são:
  - Legitimar, garantir e demonstrar a transparência, integridade, equanimidade, reprodutibilidade e excelência da operação do SIN
  - Estabelecer, com base legal e contratual, as responsabilidades do ONS e dos Agentes de Operação, no que se refere a atividades, insumos, produtos e prazos dos processos de operação do sistema elétrico
  - Especificar os requisitos técnicos contratuais exigidos nos Contratos de Prestação de Serviços de Transmissão - CPST, dos Contratos de Conexão ao Sistema de Transmissão - CCT e dos Contratos de Uso do Sistema de Transmissão - CUST

# Procedimentos de Rede do ONS

- 26 módulos
- <http://ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>

# Procedimentos de Rede do ONS

## Módulos funcionais dos *Procedimentos de Rede*

- 2 – Requisitos mínimos para instalações e gerenciamento de indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes
- 3 – Acesso aos sistemas de transmissão
- 4 – Ampliações e reforços
- 5 – Consolidação da previsão de carga
- 6 – Planejamento e programação da operação elétrica
- 7 – Planejamento da operação energética
- 8 – Programação diária da operação eletroenergética
- 9 – Recursos hídricos e meteorologia
- 10 – Manual de Procedimentos da Operação
- 11 – Proteção e controle
- 12 – Medição para faturamento
- 13 – Telecomunicações
- 14 – Administração dos serviços ancilares
- 15 – Administração de serviços e encargos de transmissão
- 16 – Acompanhamento de manutenção
- 21 – Estudos para reforço da segurança operacional elétrica, controle sistêmico e integração de instalações
- 22 – Análise de ocorrências e perturbações
- 25 – Apuração dos dados, relatórios da operação do Sistema Interligado Nacional e indicadores de desempenho
- 26 – Modalidade de operação de usinas

# Procedimentos de Rede do ONS

## **Módulo multifuncional dos *Procedimentos de Rede***

24 – Processo de integração de instalações

## **Módulos complementares dos *Procedimentos de Rede***

1 – O Operador Nacional do Sistema Elétrico e os *Procedimentos de Rede*<sup>1</sup>

18 – Sistemas e modelos computacionais

19 – Identificação, tratamento e penalidades para as não-conformidades

20 – Glossário de termos técnicos

23 – Critérios para estudos

# Sistemas de energia elétrica (GTD): passado e presente

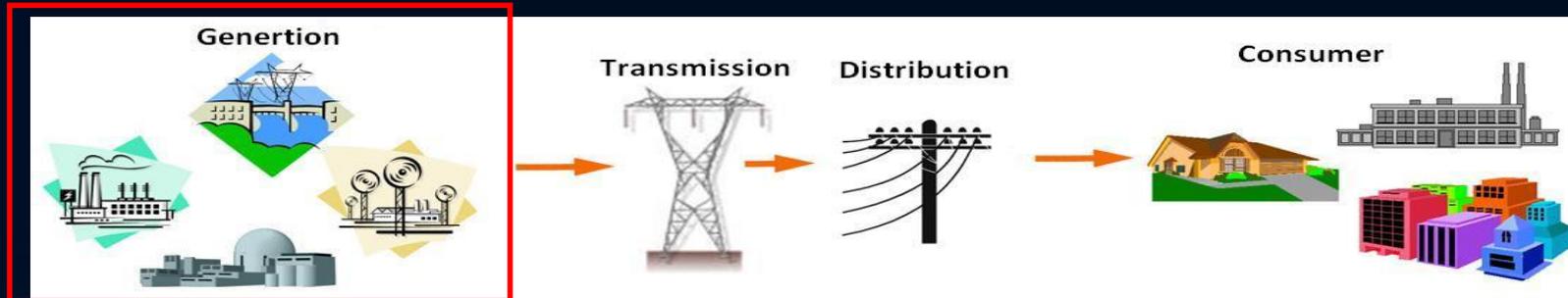
Principais características:

- Geração centralizada de grande porte (afastada dos centros consumidores);
- Médio/Alto nível de automatização e monitoramento nos sistemas de transmissão e geração;
- Baixo nível de automatização e monitoramento nos sistemas de distribuição;
- Consumidor final passivo (sem possibilidades de interação e tomada de decisão);
- Modelos de negócio apresentando poucas oportunidades de prestação de novos serviços.

# Quais são os principais motivadores para as mudanças?

- Crescente aumento da demanda por energia elétrica;
- Esgotamento de recursos primários para geração (necessidade de diversificação da matriz energética);
- Necessidade de redução da emissão de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>);
- Interesses econômicos e governamentais;
- Sistemas com equipamentos relativamente antigos (deterioração);
- A sociedade digital exige melhores índices de confiabilidade e qualidade de energia (consumidores mais cientes e cargas mais sensíveis);
- Consumidor mais cientes dos seus direitos (exigentes).

# Quais são as potenciais mudanças nos sistemas atuais?



Impacto nos sistemas de geração:  
Moderado

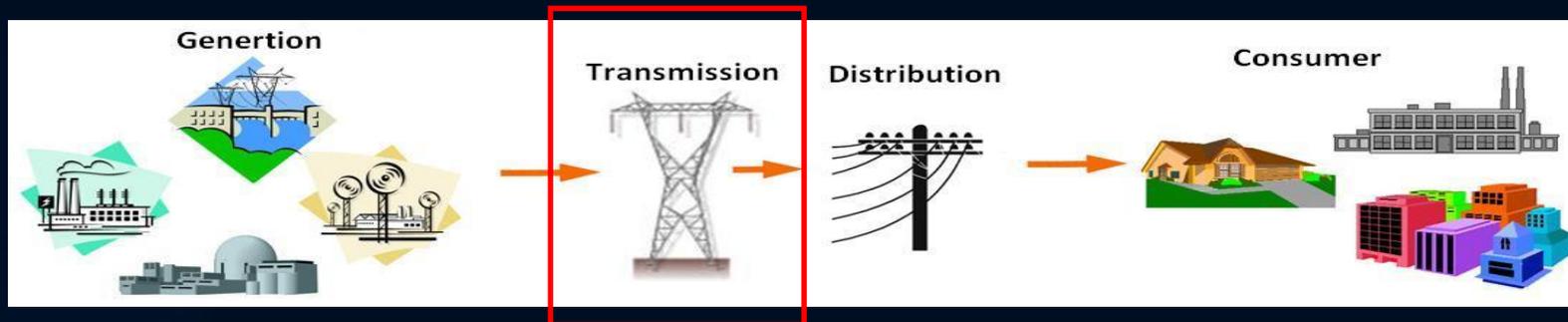
## Passado/Presente:

- Principalmente geração centralizada de grande porte

## Futuro (potencial):

- Geração centralizada de grande porte combinada com a geração distribuída (principalmente envolvendo novas fontes renováveis – eólica e solar)

# Quais são as potenciais mudanças nos sistemas atuais?



Impacto nos sistemas de transmissão: **Moderado**

## Passado/Presente:

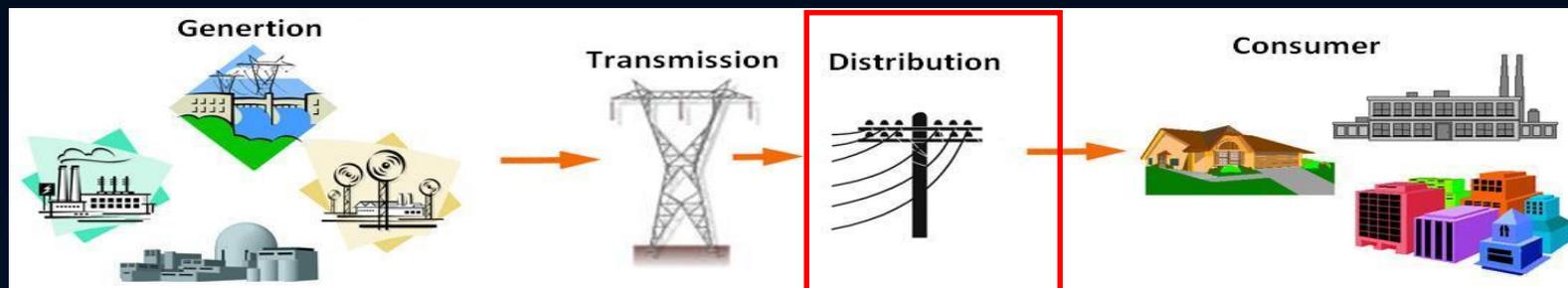
- Boa parte dos equipamentos monitorados manualmente
- Limitadas opções de controle durante contingências (defeitos)
- Não opera de forma proativa para diagnosticar potenciais problemas (atuação reativa)
- Restauração manual

## Futuro (potencial):

- Mais tecnologias de medição/monitoramento (por exemplo medição sincronizada via GPS (**PMUs** – *Phasor Measurement Units*))
- Mais flexibilidades de controle via eletrônica de potência (FACTS, **HVDC**)
- Sistemas de monitoramento, proteção e controle abrangente – Wide Area (**WAMS**/WAMPAC)

*ONS: A sua fase inicial compreende a instalação de PMUs em 31 subestações do SIN para monitorar 181 terminais de linhas de transmissão, incluídas no Plano de Modernização de Instalações (PMI) 2014-2017.*

# Quais são as potenciais mudanças nos sistemas atuais?



Impacto nos sistemas de distribuição: **Alto**

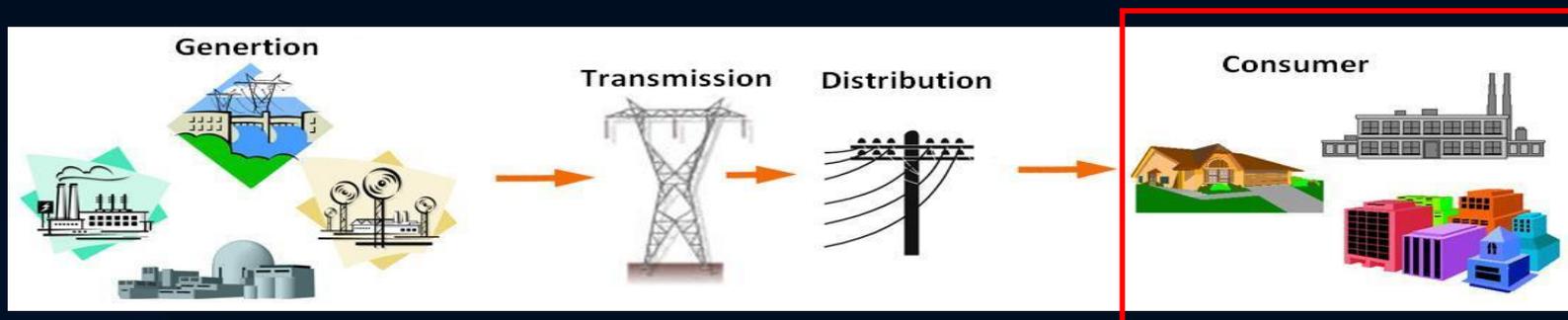
## Passado/Presente:

- Equipamentos monitorados manualmente
- Sistemas de proteção, controle e monitoramento limitados e localizados.
- Reduzida capacidade de isolamento de faltas
- Furto de energia
- Perdas técnicas elevadas na distribuição de energia
- Confiabilidade estimada
- Rede passiva

## Futuro (potencial):

- Equipamentos com monitoramento remoto e automático (soluções integradas para monitoramento da vida útil dos equipamentos)
- Proteção adaptativa
- Soluções integradas de monitoramento e informação do sistema em tempo real para o isolamento de faltas
- Soluções integradas de monitoramento para reduzir o furto de energia
- Sistemas integrados para redução de perdas
- Confiabilidade preditiva
- Geração distribuída

# Quais são as potenciais mudanças nos sistemas atuais?



Impacto nos consumidores: **Alto**

## Passado/Presente:

- Cargas tradicionais (simples e bem comportadas)
- Impossibilidade em exercer controle direto sobre o uso de energia dos consumidores (pelas concessionárias). Respostas limitadas a programas de eficiência energética
- Falta de conhecimento sobre como os consumidores estão utilizando a energia (para redução e otimização do uso)
- Dificuldades em utilizar geração distribuída e sistemas de armazenamento de energia para melhor aproveitamento do sistema elétrico

## Futuro (potencial):

- Dispositivos digitais/microprocessados/eletrônicos
- Soluções de resposta à demanda com controle direto sobre a carga
- Infraestrutura avançada de medição (smart meters)
- Soluções para gerenciamento de energia residencial
- Soluções para integrar recursos associados a distribuição, geração e armazenamento de energia

Hoje...

OBRIGADO

