

# Fornecimento e Distribuição de Energia Elétrica

## Conceitos básicos

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

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

Julho/2012

# Definições básicas

## Aspectos do sistema elétrico brasileiro

- O Poder Federal, por meio da Constituição Federal, regula e fiscaliza as atividades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica;
- Sendo assim, as concessões para esses serviços são de responsabilidade do Ministério de Minas e Energia;
- A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), criada pela Lei Federal 9.427 regula e fiscaliza a atividade das concessionárias;
- A ANEEL pode delegar a atividade de fiscalização a outros órgãos, normalmente estaduais;
- No Estado de São Paulo, a atividade de fiscalização é efetuada pela Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo.

# Definições básicas

## Planejamento, operação e comercialização de energia elétrica

- O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), sob a fiscalização e regulação da ANEEL;
- A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras;

# Definições básicas

## Planejamento, operação e comercialização de energia elétrica

- A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) atua como instituição responsável por viabilizar as operações de compra e venda de energia em todo o SIN, atua desde a medição da energia gerada e efetivamente consumida até a liquidação financeira dos contratos de compra e de venda no mercado de curto prazo. Também promove os leilões de energia, sob delegação da ANEEL.

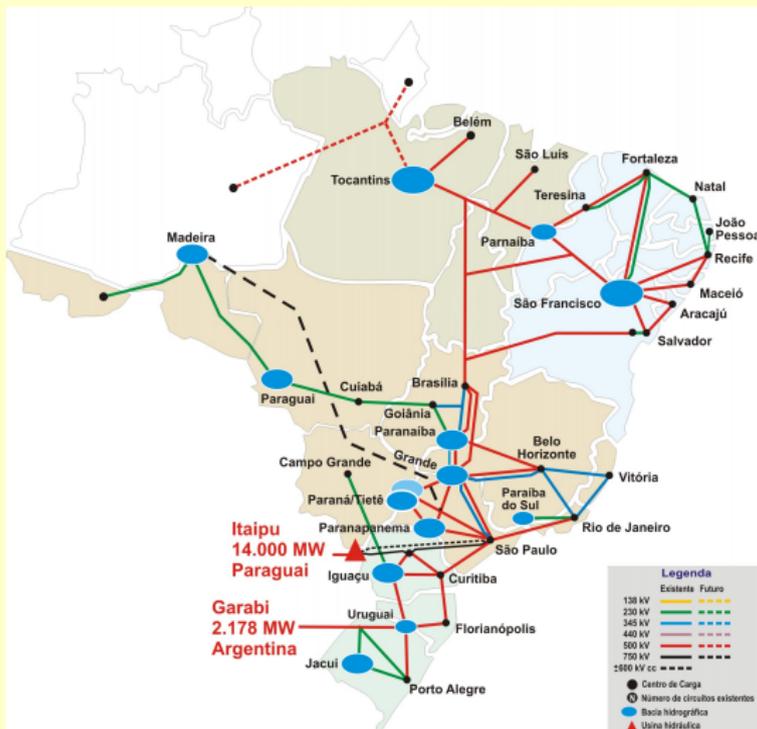
# O sistema interligado nacional

## Definições

- Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários;
- O Sistema Interligado Nacional é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte;
- Apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica.

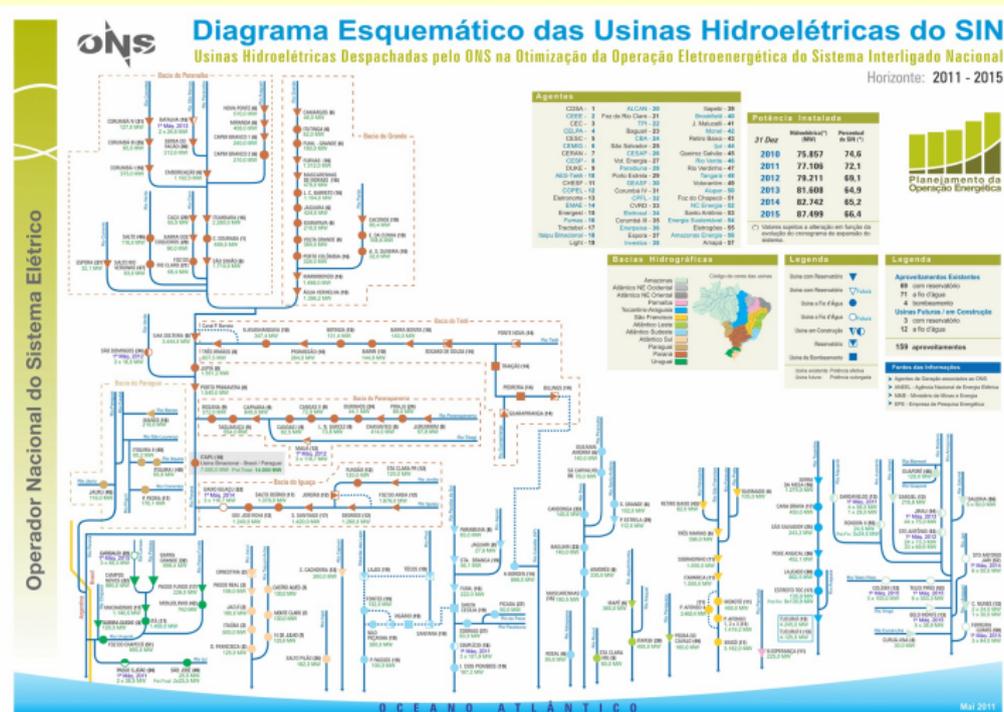
# O sistema interligado nacional

## Integração entre bacias hidrográficas



# O sistema interligado nacional

## Diagrama esquemático das usinas hidroelétricas



# Definições básicas

## Legislação e regulamentação

- As leis e decretos regem as concessões para geração, transmissão e distribuição de energia e definem o modelo do setor;
- A partir dessas leis e decretos a ANEEL estabelece a regulamentação do setor;
- Para ilustrar esse mecanismo, são apresentadas as seguintes resoluções:
  - Resolução n° 456 de 29/11/2000: estabelece, de forma atualizada e consolidada, as condições gerais de fornecimento de energia elétrica;
  - Resolução n° 505, de 26/11/2001: estabelece de forma atualizada e consolidada, as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente;

# Definições básicas

## Legislação e regulamentação

- Para ilustrar esse mecanismo, são apresentadas as seguintes resoluções (cont.):
  - Resolução n° 024, de 27/01/2000: estabelece as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras.

# Definições básicas

## Normatização

- Além desses três exemplos, existem outras resoluções que regulamentam os tempos dos atendimentos de emergência, ressarcimento de danos, qualidade das centrais de atendimento, etc.;
- Vale lembrar que além das leis, decretos e resoluções, as concessionárias de energia elétrica devem atender a critérios técnicos definidos por normas nacionais e internacionais;
  - ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas;
  - IEC: International Electrotechnical Commission;
  - ANSI: American National Standards Institute.

# Condições gerais de fornecimento

Resolução n° 456, de 29 de novembro de 2000

- A resolução n° 456/2000 trata das relações comerciais entre consumidor e concessionária;
- O consumidor é a pessoa física ou pessoa jurídica responsável pelo pagamento da fatura;
- A concessionária é a empresa responsável pela entrega da energia ao consumidor. Pode ser uma concessionária de transmissão ou de distribuição.

# Condições gerais de fornecimento

## Tipos de consumidores

- Há dois tipos de consumidores:
  - Cativo: pequenos consumidores;
  - Livre: grandes consumidores.

# Consumidor cativo

## Definições

- O consumidor cativo é aquele que:
  - Compra energia elétrica de concessionária ou permissionária que tem a concessão para fazer o serviço de distribuição;
  - Não tem possibilidade de negociar preço, ficando sujeito às tarifas de fornecimento estabelecidas pela ANEEL;
  - Compra energia elétrica de distribuidoras que adquiriram essa energia através de leilões, portanto precisam repassar esses custos ao consumidor.

# Consumidor livre

## Definições

- O consumidor livre é aquele que:
  - Traça estratégias e negocia livremente as condições comerciais de contratação da sua energia;
  - Tem possibilidade de escolher preço, prazo, indexação e ter flexibilidade quanto ao montante de consumo;
  - Escolhe seu fornecedor de energia, que pode ser um gerador ou um agente comercializador;
  - Nesse contexto deve pagar a TUST e/ou TUSD (tarifas de uso dos sistemas de transmissão e/ou distribuição).

# Fornecimento de energia elétrica

## Informações adicionais

- O ponto de entrega normalmente se situa no limite da via pública com o imóvel em que se localiza a unidade consumidora;
- Esta unidade pode ser: residencial; comercial; industrial; rural; iluminação pública; e poder público;
- A cobrança do fornecimento é efetuada por meio de fatura elaborada com base em procedimentos descritos na n.º 456/2000.

# Fornecimento de energia elétrica

## Níveis de tensão de fornecimento

- Considerando as possíveis condições operativas das redes elétricas, os níveis de tensão podem oscilar;
- Esses níveis podem ser classificados como adequados (93% a 105%), precários (90% a 93%) ou críticos (menor que 90% ou maior que 105%);
- Nesse contexto, não são avaliados os níveis de tensão transitórios ou de curta duração, apenas médias de dez minutos (1008 medições por semana).

# Fornecimento de energia elétrica

## Duração relativa de transgressão de tensão

- Precária (< 0,7 % dos valores médios):

$$\text{DRP} = \frac{\text{nlp}}{1008} \cdot 100 \%$$

- Crítica (< 3,0 % dos valores médios):

$$\text{DRC} = \frac{\text{nlc}}{1008} \cdot 100 \%$$

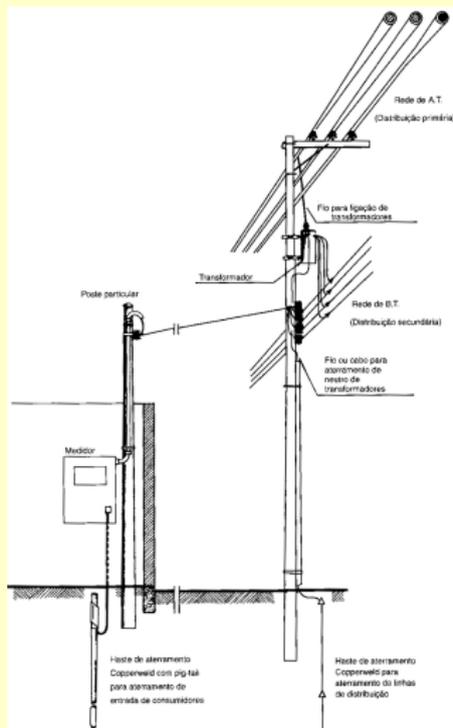
Onde:

nlp é o número de leituras efetuadas na faixa precária; e

nlc é o número de leituras efetuadas na faixa crítica.

# Exemplo de fornecimento

## Entrada de baixa tensão



# Fornecimento de energia elétrica

## Confiabilidade

- As metas de confiabilidade são avaliadas a partir de índices coletivos (DEC e FEC) e índices individuais (DIC e FIC);
- Os índices coletivos são:
  - DEC – Duração equivalente de interrupção por consumidor pertencente a um conjunto de consumidores:

$$DEC = \sum_{i=1}^n \frac{Ca(i) \cdot t(i)}{Cs}$$

Onde:

$i$  é o evento de interrupção no fornecimento;

$Ca(i)$  é o número de consumidores afetados na  $i$ -ésima interrupção;

$Cs$  é o número de consumidores do conjunto;

$t(i)$  é a duração da  $i$ -ésima interrupção.

# Fornecimento de energia elétrica

## Confiabilidade

- Os índices coletivos são (cont.):
  - FEC – Frequência equivalente de interrupção por consumidor pertencente a um conjunto de consumidores:

$$FEC = \sum_{i=1}^n \frac{Ca(i)}{Cs}$$

# Fornecimento de energia elétrica

## Confiabilidade

- Os índices individuais são:

- DIC – Duração de interrupção por unidade consumidora:

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i)$$

- FIC – Frequência de interrupção por unidade consumidora:

$$FIC = n$$

- DMIC – Duração máxima de interrupção por unidade consumidora:

$$DMIC = \max \{t(i)\}$$

# Estabelecimento da tarifa

## Aspectos gerais

- O processo de tarifação de energia elétrica é dividido em duas partes:
  - Estabelecimento da receita requerida: esta etapa do processo de tarifação consiste no cálculo dos custos fixos e variáveis, e inclui a remuneração para o capital investido;
  - Rateio da receita requerida: esta etapa do processo de tarifação consiste na divisão da receita requerida entre os consumidores de energia elétrica, conforme as modalidades tarifárias vigentes.

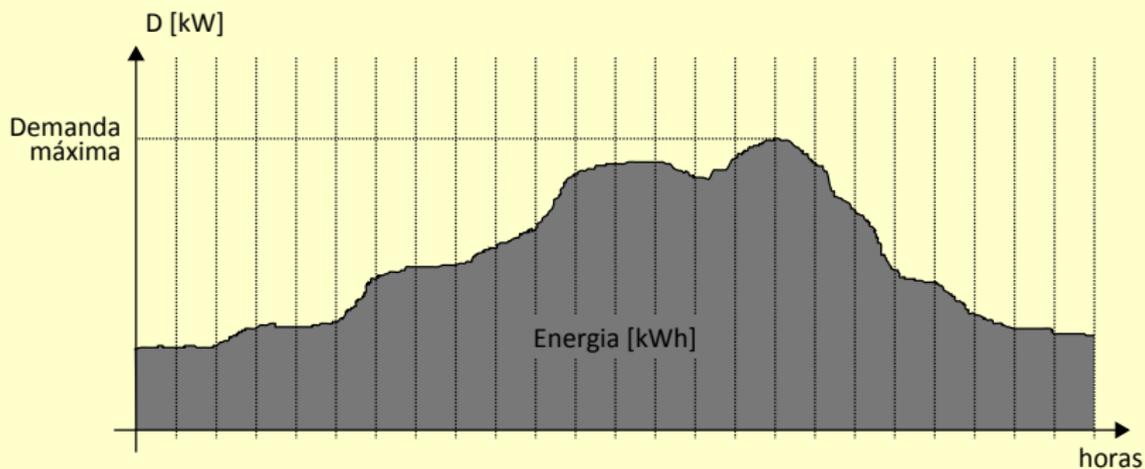
# Modalidades tarifárias

## Aspectos gerais

- Atualmente existem duas modalidades de tarifa, que são aplicadas a dois grupos distintos:
  - Modalidade A: esta modalidade é utilizada na tarifação de instalações elétricas comerciais e industriais de médio e grande porte. Nesta modalidade a tarifa é dividida em *demanda* e *energia*;
  - Modalidade B: esta modalidade é utilizada na tarifação de instalações elétricas residenciais, comerciais e industriais de pequeno porte, iluminação pública e poder público.

# Modalidades tarifárias

## Curva de demanda



# Modalidades tarifárias

## Modalidade A

- Esta modalidade é dividida de acordo com o nível de tensão:
  - A1:  $\geq 230$  [kV];
  - A2: 88 [kV] a 230 [kV];
  - A3: 69 [kV];
  - A3a: 30 [kV] a 44 [kV];
  - A4: 2,3 [kV] a 25 [kV];
  - A5:  $< 2,3$  [kV] (subterrâneo).

# Modalidade A

## Tarifas previstas

- As tarifas previstas para esse grupo tarifário são:
  - Horó-sazonal azul;
  - Horó-sazonal verde;
  - Convencional binômia.

# Modalidade A

## Horo-sazonal azul

- A tarifa é dividida em demanda e energia, considerando o período do dia e o período do ano:
  - Tarifa de demanda – R\$/kW: hora de ponta (3 horas consecutivas entre as 17 e as 22 horas) e fora de ponta;
  - Tarifa de consumo – R\$/MWh: os valores são diferenciados segundo os períodos do ano (seco: maio a novembro e úmido: dezembro a abril). Para cada período, são definidas tarifas de consumo por horário de ponta e fora de ponta;

# Horo-sazonal azul

## Cálculo da tarifa

$$\begin{aligned} & \left( \begin{array}{l} \text{Tarifa de demanda} \\ \text{no horário de ponta} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{l} \text{Maior demanda no} \\ \text{horário de ponta}^* \end{array} \right) \\ & \quad + \\ & \left( \begin{array}{l} \text{Tarifa de demanda} \\ \text{fora de ponta} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{l} \text{Maior demanda no} \\ \text{fora de ponta}^* \end{array} \right) \\ & \quad + \\ & \left( \begin{array}{l} \text{Tarifa de energia no} \\ \text{horário de ponta}^{**} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{l} \text{Consumo de energia} \\ \text{no horário de ponta} \end{array} \right) \\ & \quad + \\ & \left( \begin{array}{l} \text{Tarifa de energia} \\ \text{fora de ponta}^{**} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{l} \text{Consumo de energia} \\ \text{fora de ponta} \end{array} \right) \end{aligned}$$

\* ou valor contratado

\*\* referente ao período do ano

# Horo-sazonal verde

## Cálculo da tarifa

- Tarifa horo-sazonal verde:
  - É praticamente igual à horo-sazonal azul, porém o cálculo da tarifa de demanda é feito para todo o período do dia, isto é, não existe horário de ponta e fora de ponta;
  - Para o cálculo do consumo ainda são considerados os períodos do ano (seco e úmido).

# Tarifa binômia

## Cálculo da tarifa

- Tarifa binômia:
  - É praticamente igual à horo-sazonal azul, porém o cálculo da tarifa de demanda é feito para todo o período do dia, isto é, não existe horário de ponta e fora de ponta;
  - Além disso, para o cálculo do consumo ainda não são considerados os períodos do ano;
  - Esta tarifa é aplicada para consumidores cuja potência instalada não excede 300 [kW].

# Modalidades tarifárias

## Modalidade B

- Esta modalidade é dividida de acordo com os seguintes tipos:
  - B1: consumidores residenciais;
  - B1 com desconto: consumidores residenciais de baixa renda;
  - B2: consumidores rurais;
  - B3: outros (comércio, indústria e serviços);
  - B4: iluminação pública.

# Modalidade B

## Tarifa prevista

- A tarifa prevista para esse grupo tarifário é monômnia, isto é, consiste apenas na tarifa por consumo;
- Neste caso, a tarifa deve ser elaborada de forma a contemplar os custos de investimento em ampliação da rede, que refletem os custos associados ao atendimento à demanda máxima, e os custos fixos da concessionária, que refletem os custos associados à entrega da energia contratada.