

Sistemas Elétricos de Potência I

PROF. LUCAS CLAUDINO

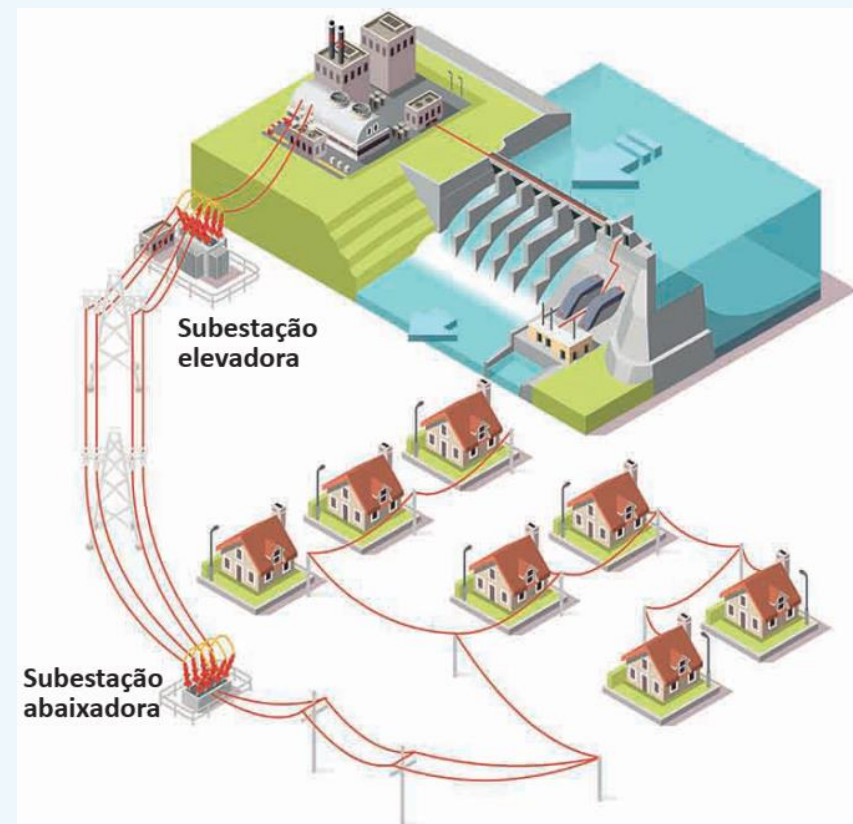
CONCEITOS

Subestações de energia



Introdução

- Nesta seção, as **subestações** de energia serão apresentadas, e as mesmas serão classificadas em diversos aspectos. Os possíveis arranjos de barramentos serão apresentados de forma que você estará apto a diferenciá-los quanto aos aspectos operativos e possibilidades de manobras.



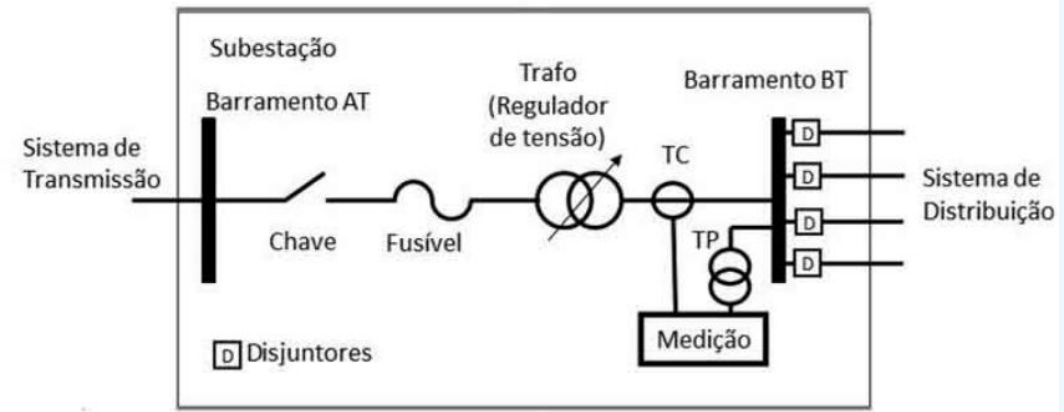
Fonte: Silva, 2019.



Subestações

- Nas **subestações** é que os níveis de tensão são elevados para a transmissão econômica de energia elétrica, ou reduzidos para os níveis adequados da distribuição.
- Além disso, é nas subestações que algumas das principais manobras são realizadas, de forma a garantir a continuidade e confiabilidade do suprimento de energia elétrica.
- Assim sendo, uma subestação de energia (SE) define uma interface entre os subsistemas do SEP.

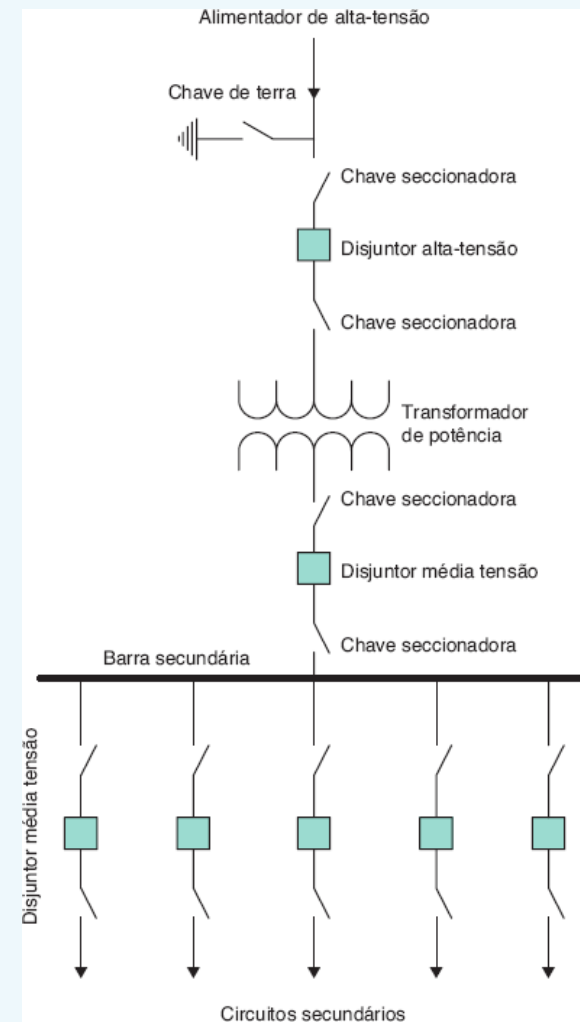
- Adequação de níveis de tensão;
- Controle e proteção do SEP;
- Automação do SEP → smart grid;



Fonte: Silva, 2019.



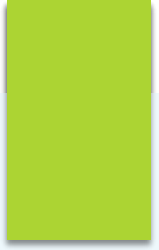
- De acordo com o **PRODIST**, no Módulo 1, as **SEs** compreendem o “Conjunto de instalações elétricas em média ou alta tensão que agrupa os equipamentos, condutores e acessórios, destinados à proteção, medição, manobra e transformação de grandezas elétricas” (PRODIST, 2015).
- O esquema básico de uma SE aparece na Figura ao lado, em que são mostrados os seus principais componentes. Trata-se de um arranjo com **barra simples**.



Fonte: Silva, 2019.



- Funções básicas:
 1. Garantir a **interligação** dos sistemas de energia elétrica.
 - Direcionar o fluxo de energia entre a fonte e as cargas;
 - Utilizam equipamentos de manobra e transformação de tensão.
 2. Melhorar a **qualidade** de energia.
 - Devem ter capacidade para compensar reativos do sistema.
 - Controle e manutenção dos níveis de tensão adequados.
 3. **Proteger** a integridade física do sistema e das pessoas.



- Basicamente, podemos classificar as subestações:
 1. Quanto a função.
 2. Quanto ao nível de tensão.
 3. Quanto ao tipo de instalação.
 4. Quanto a forma de operação.

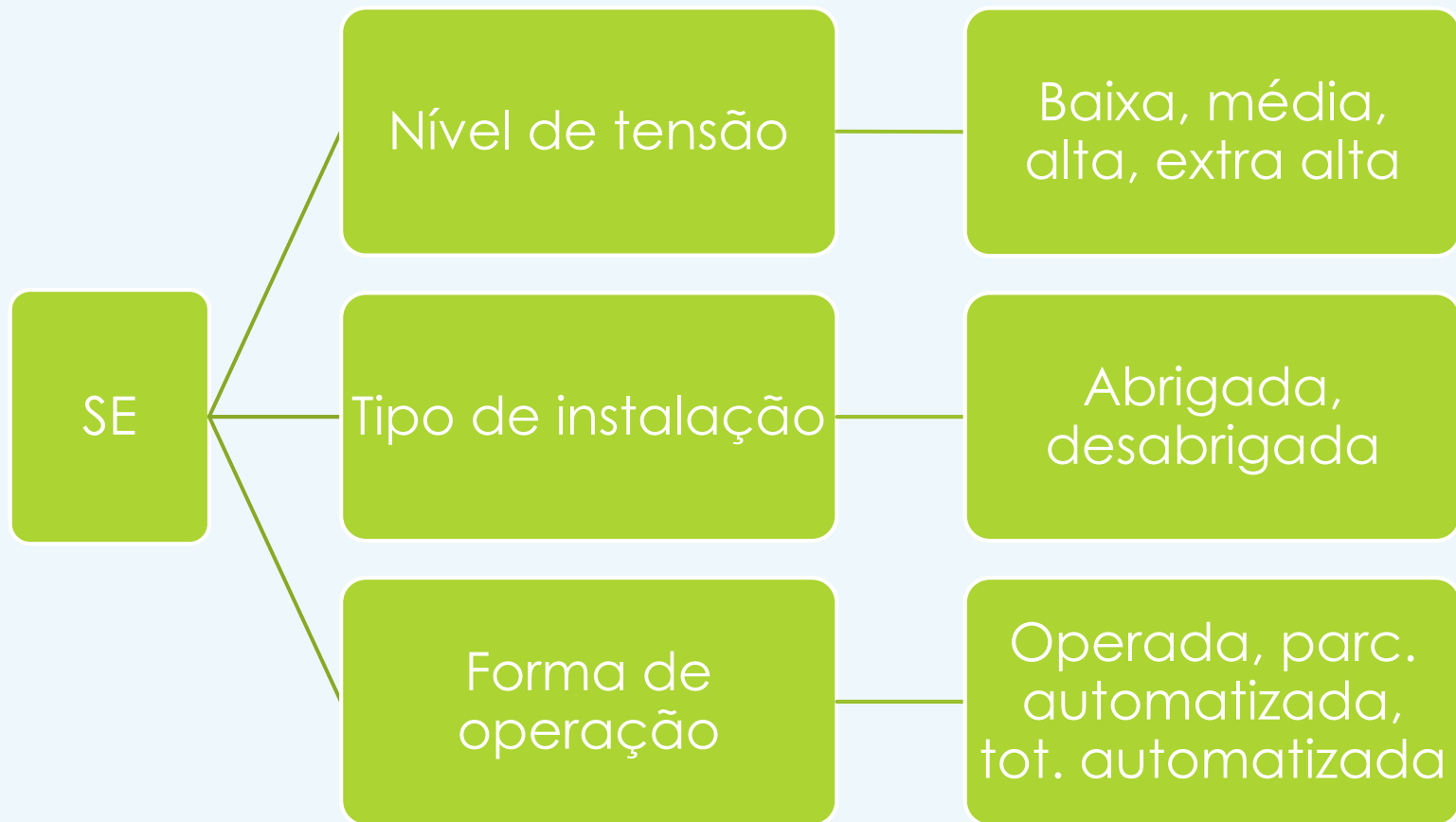


1. Quanto a função

- **Subestações de concessionária:** estações de Transformação da Transmissão e Estações Transformadoras da Distribuição;
- **Subestações de consumidores:** industriais, particulares.

2. Quanto ao nível de tensão:

- **Baixa tensão:** tensões menores 1 kV;
- **Média tensão:** tensões entre 1 kV e 34,5 kV;
- **Alta tensão:** entre 34,5 kV e 230 kV;
- **Extra alta tensão:** maiores que 230 kV





3. Quanto ao tipo de instalação

- Tipo abrigada;
- Tipo desabrigada (céu aberto).

4. Quanto a forma de operação:

- Com operador: exige muito conhecimento e treinamento do operador;
- Totalmente automatizada: por meio de computadores e softwares;
- Parcialmente automatizada: também com o auxílio de computadores e softwares que impedem operações indevidas do operador.



Barramentos

- As subestações são dotadas de **barramentos** de alta e média tensão nos quais são conectados tanto os circuitos alimentadores como os circuitos de distribuição, incluindo-se os transformadores de potência.
- Existem vários tipos de **arranjo de barramentos** primários e secundários como a seguir analisados. Cada um desses arranjos deverá ser selecionado em função das características da carga, do nível de confiabilidade e continuidade desejadas, do nível de flexibilidade de manobra e recomposição da subestação.

Arranjo	Confiabilidade	Custo
Barra simples	Baixo	Baixo
Barra principal e transferência	Baixo	Intermediário
Barra dupla – 1 disjuntor	Médio	Intermediário
Barra dupla – 2 disjuntores	Alta	Alto
Barra dupla – disjuntor e meio	Alta	Intermediário
Barra em anel	Alta	Intermediário

Fonte: Silva, 2019.



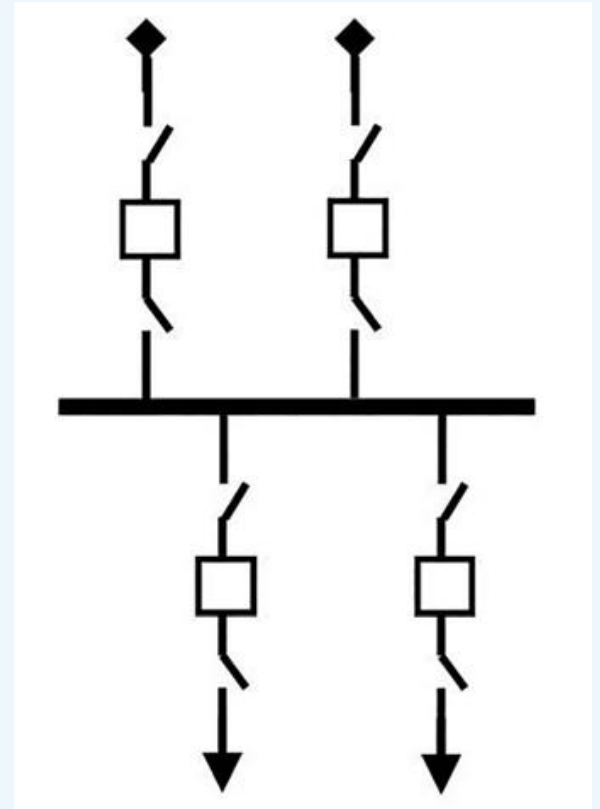
Barramento simples

- **Vantagens:**

- Baixo nível de investimento.
- Operação extremamente simples.

- **Desvantagens:**

- Defeito no barramento ou no disjuntor geral obriga o desligamento da subestação.
- Defeito em qualquer disjuntor dos circuitos secundários desliga a carga correspondente.
- Trabalhos de manutenção e ampliação no barramento implicam o desligamento da subestação.
- Trabalhos de manutenção no disjuntor geral ou chaves seccionadoras implicam o desligamento da subestação.
- Trabalhos em qualquer disjuntor ou chaves seccionadoras dos circuitos secundários implicam o desligamento das cargas correspondentes.

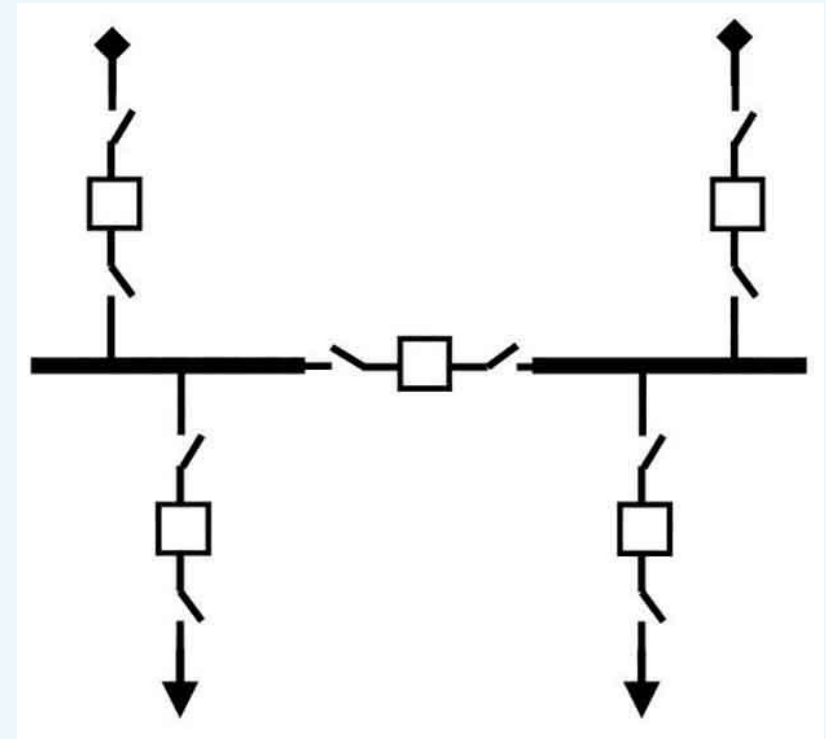


Fonte: Silva, 2019.



► Barramento simples seccionada

- **Vantagens:**
 - Continuidade do fornecimento aumentada.
 - Baixo nível de investimento.
 - Facilidade operacional de manobra no circuito secundário ou de média tensão.
 - Alternativa de operar ou não com os dois transformadores em paralelo.
- **Desvantagens:**
 - Perda da metade da carga da subestação quando ocorrer um defeito em qualquer uma das barras.

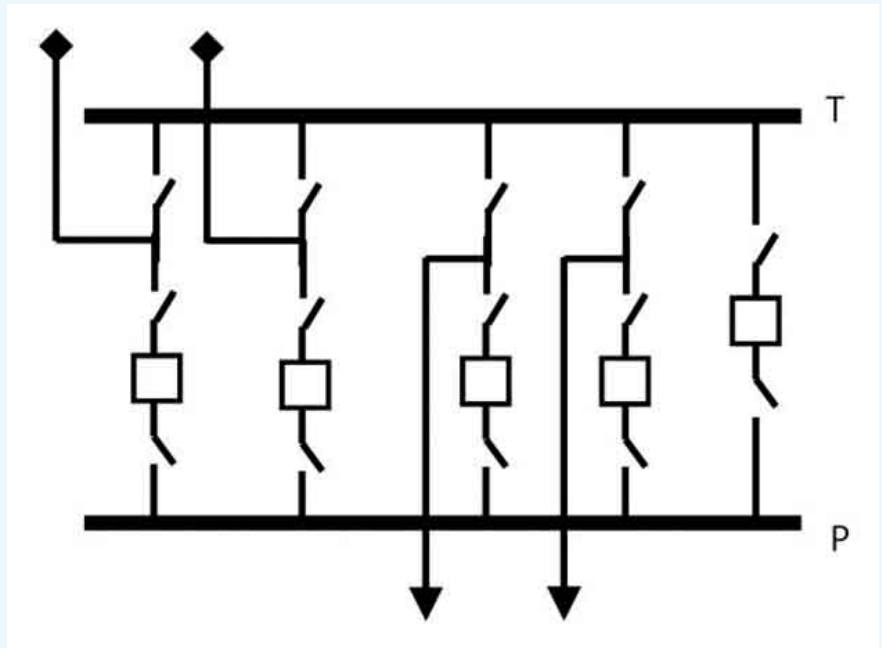


Fonte: Silva, 2019.



► Barramento principal e de transferência

- **Vantagens:**
 - Aumento da continuidade do fornecimento.
 - Baixo nível de investimento.
 - Defeito em qualquer disjuntor dos circuitos secundários interrompe apenas momentaneamente a carga associada.
 - Qualquer equipamento pode ser retirado e substituído sem interrupção do fornecimento.
- **Desvantagens:**
 - Defeito no barramento principal obriga o desligamento da subestação.



Fonte: Silva, 2019.



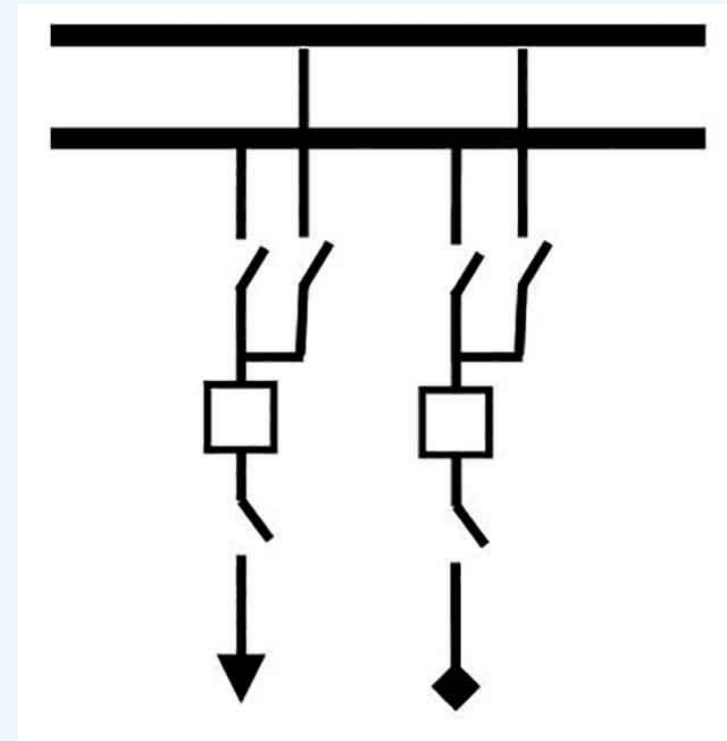
► Barramento duplo com disjuntor único

- **Vantagens:**

- Continuidade do fornecimento aumentada.
- Facilidade operacional de transferência de circuitos de uma barra para outra.
- Qualquer equipamento pode ser retirado e substituído com interrupção do fornecimento somente da carga associada.
- A perda de uma barra não afeta as cargas a ela conectadas, já que podem ser transferidas para a outra barra.

- **Desvantagens:**

- Necessidade de um disjuntor extra para conexão entre as barras, além da necessidade de chaves seccionadoras adicionais por circuito.

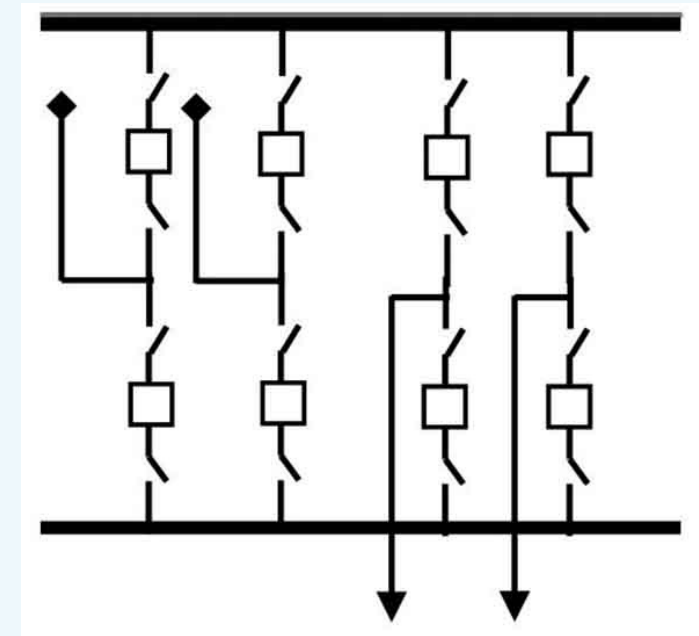


Fonte: Silva, 2019.



► Barramento duplo, 2 disjuntores

- Vantagens:
 - Continuidade do fornecimento aumentada.
 - Facilidade operacional de transferência de circuitos de uma barra para outra.
 - Defeito em qualquer disjuntor dos circuitos secundários não interrompe a carga associada.
 - Qualquer equipamento pode ser retirado e substituído sem interrupção do fornecimento.
 - A perda de uma barra não afeta as cargas a ela conectadas, já que podem ser transferidas para a outra barra.
- Desvantagens:
 - Investimento elevado.



Fonte: Silva, 2019.



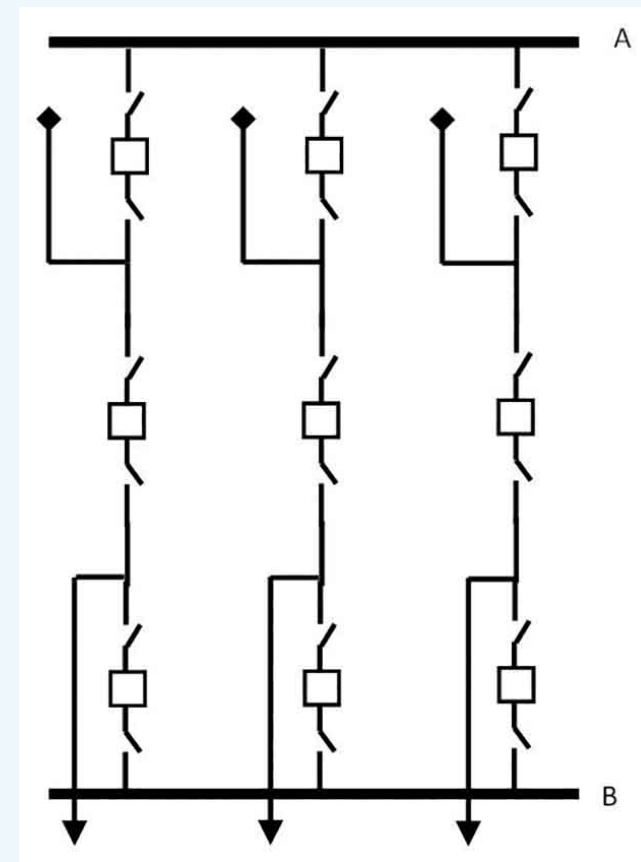
► Barramento de disjuntor e meio

- **Vantagens:**

- Continuidade do fornecimento aumentada.
- Facilidade operacional de transferência de circuitos de uma barra para outra.
- Curto tempo de recomposição do sistema após uma falha.
- Defeito em qualquer disjuntor ou chave dos circuitos secundários não interrompe a carga associada.
- A perda de uma barra não afeta as cargas a ela conectadas, já que podem ser transferidas para a outra barra.

- **Desvantagens:**

- Investimento muito elevado.
- Complexidade operacional.

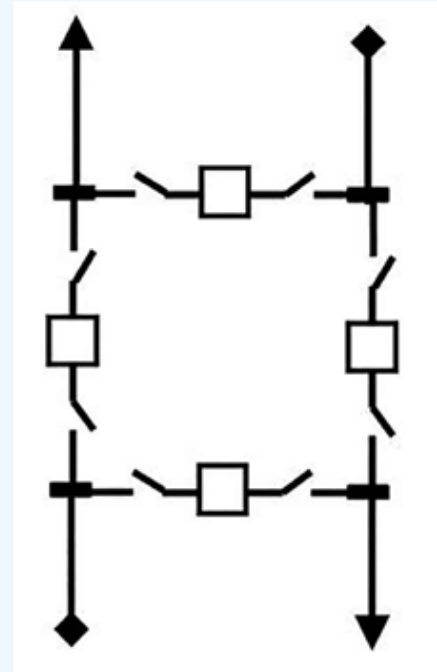


Fonte: Silva, 2019.

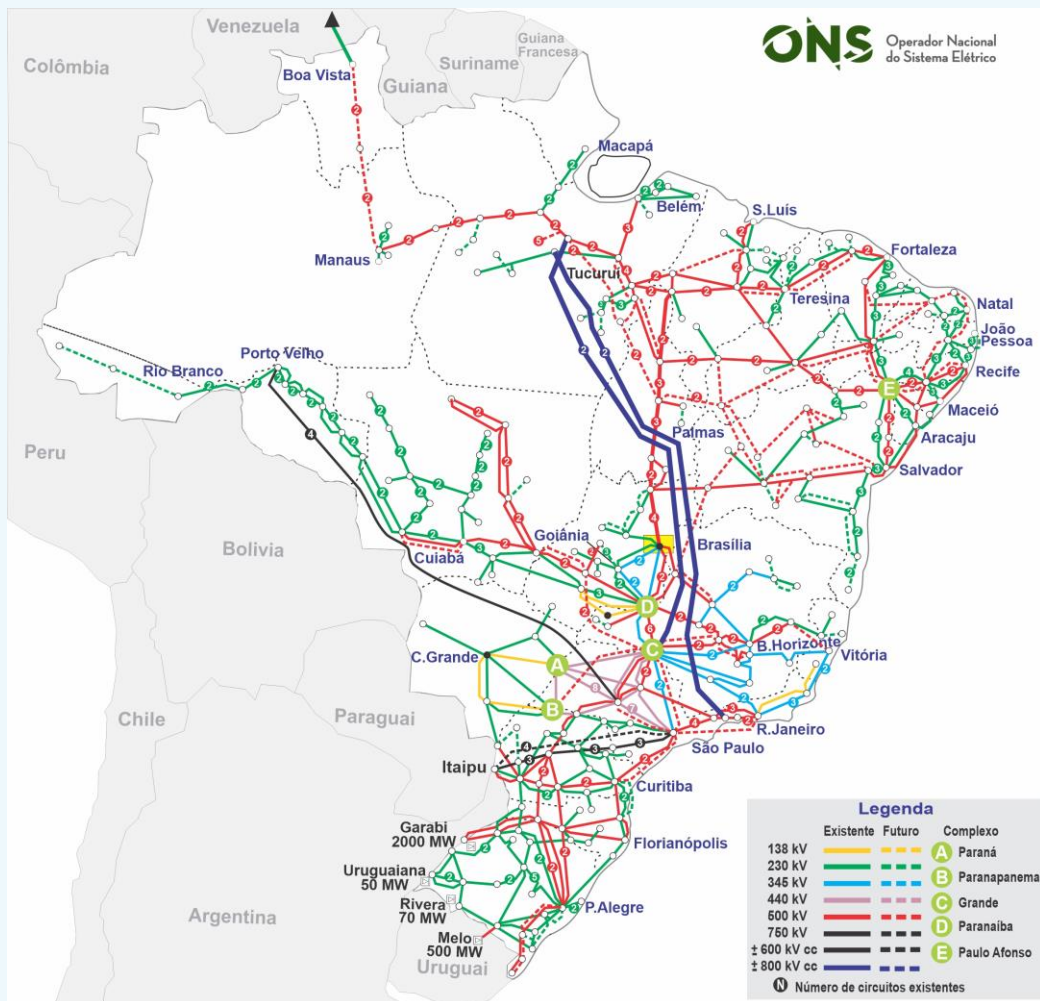


► Barramento em anel

- **Vantagens:**
 - Médio nível de investimento.
 - Cada circuito secundário é alimentado por dois disjuntores.
 - Facilidade de manutenção dos disjuntores.
 - Defeito em qualquer disjuntor ou chave do anel não interrompe o fornecimento.
- **Desvantagens:**
 - Complexidade operacional no esquema de proteção.



Fonte: Silva, 2019.

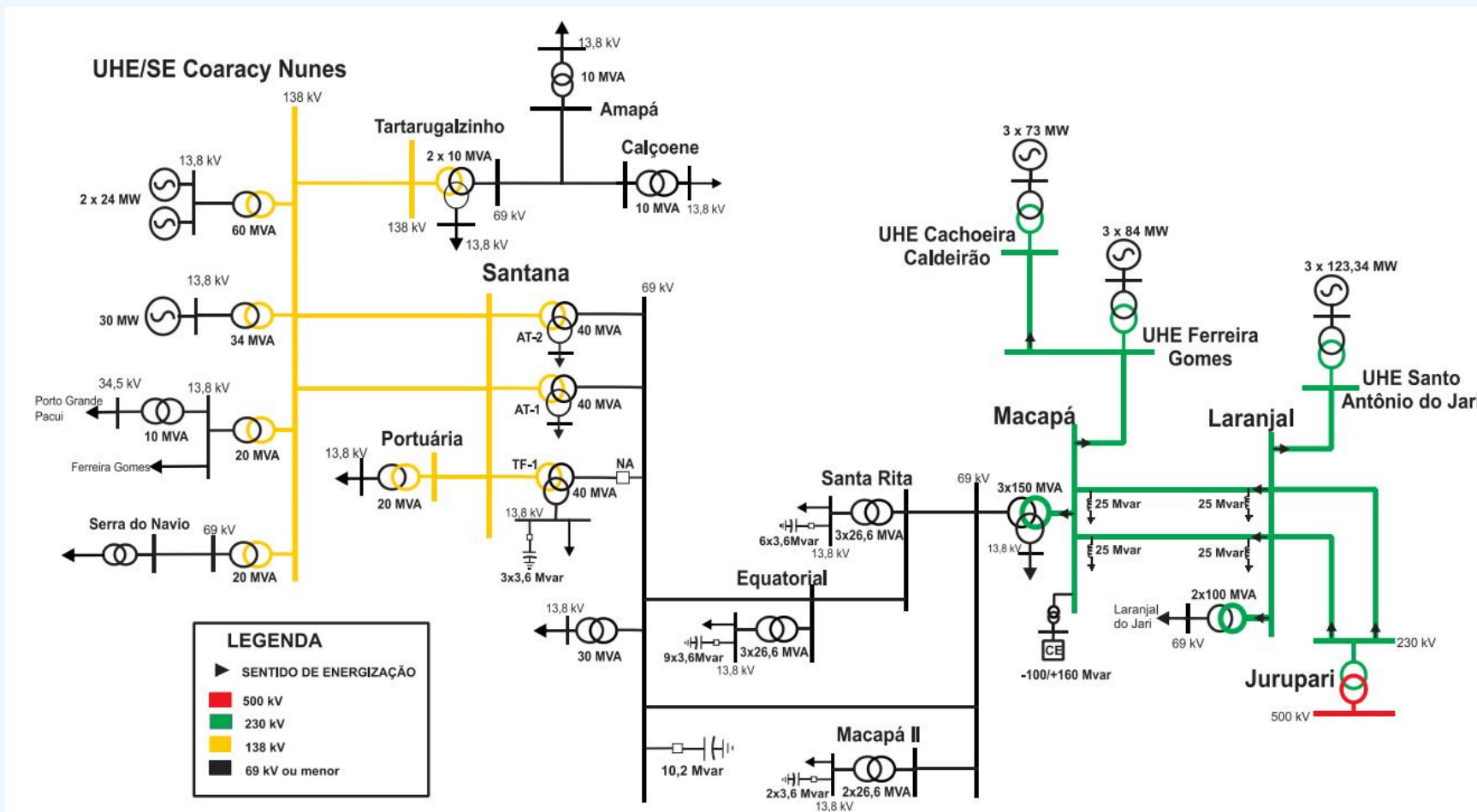


Quase 90% da população do Amapá ficou cerca de 22 dias sem energia elétrica no final do ano passado, devido a falha nos transformadores da subestação de Macapá (610 MW).





► Diagrama unifilar Amapá



SITUAÇÃO PROBLEMA

Especificação
de subestação



SP: especificação de SE

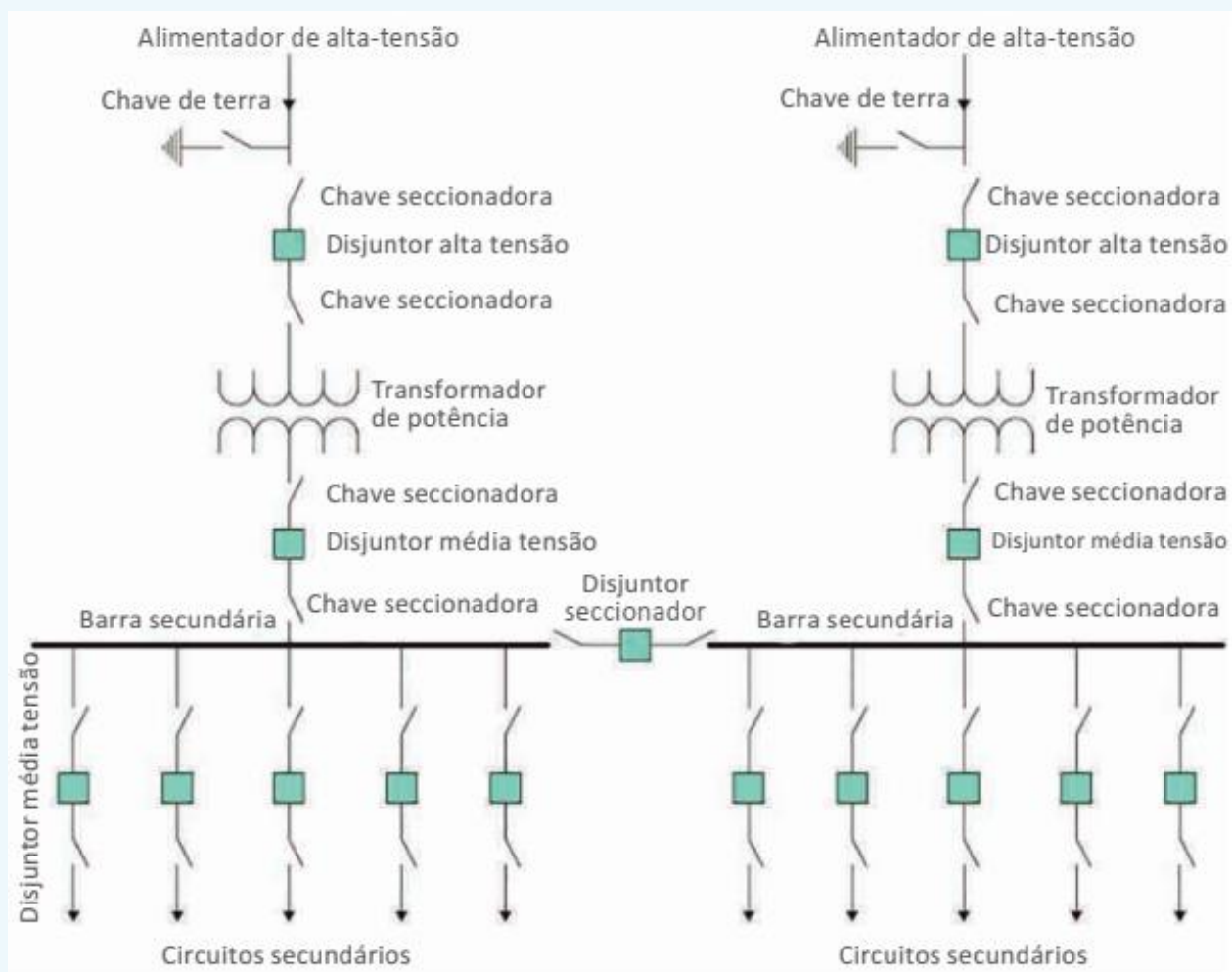
- ▶ Cliente deseja subestação própria com:
 - Continuidade de fornecimento;
 - Baixo custo;
 - Facilidade operacional de manobra no circuito secundário;
 - Se houver algum defeito em qualquer disjuntor dos circuitos secundários, somente a parte associada a ele é interrompida.



SP: especificação de SE

- ▶ Cliente deseja subestação própria com:
 - Possibilidade de transferência da carga;
 - Alternativa de operar ou não com dois transformadores em paralelo;
 - Possibilidade de retirar ou substituir qualquer equipamento com interrupção do fornecimento somente da carga associada.

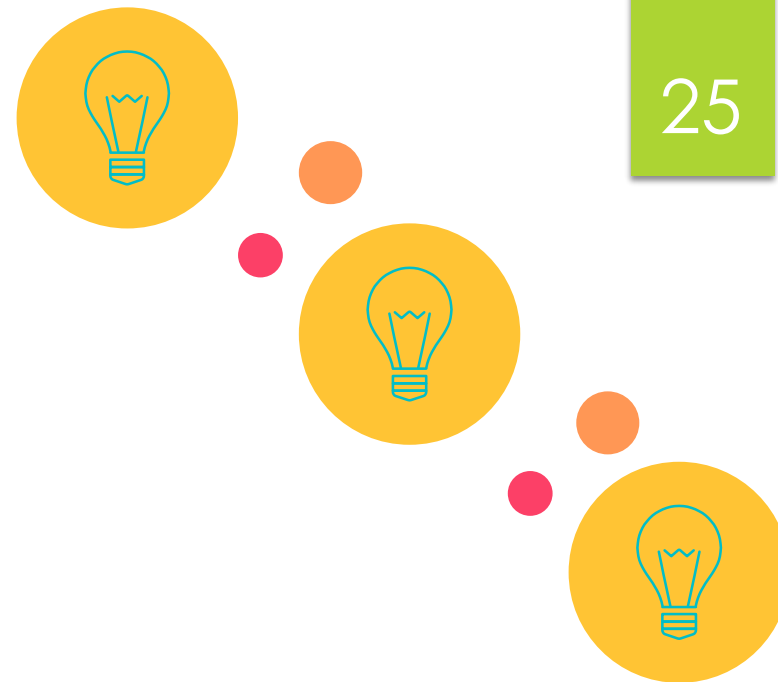
▶ Qual tipo de arranjo???



Fonte: Silva,2019.

EXERCÍCIOS

25





De acordo com o PRODIST (Procedimentos da Distribuição, da ANEEL), Módulo 1, as SEs compreendem o “Conjunto de instalações elétricas em média ou alta tensão que agrupa os equipamentos, condutores e acessórios, destinados à proteção, medição, manobra e transformação de grandezas elétricas” (PRODIST, 2015).

Em termos dos níveis de tensão de entrada e saída da subestação, selecione a alternativa correta que relaciona as classificações das subestações.

- a) Subestação de barra simples, subestação de barra dupla, subestação em anel.
- b) Subestação abrigada, subestação desabrigada, subestação blindada.
- c) Subestação elevadora, subestação abaixadora, subestação de manobra.
- d) subestação de alta tensão, subestação de média tensão, subestação de alta tensão.
- e) Subestação isolada a ar, subestação isolada a gás, subestação subterrânea.



Além da economia de espaço, as subestações abrigadas precisam de menos manutenção que as desabrigadas, e oferecem uma operação de forma segura. Entretanto, são necessários mais equipamentos de instrumentação, pois uma vez que as operações de manobra não são visíveis, devem ser providos indicadores em painéis, e outros equipamentos especiais, como para manusear o gás de isolamento. Em termos de pessoal, as subestações abrigadas exigem maior treinamento especializado para operar os equipamentos.

Assinale a alternativa que contem o gás utilizado para a isolação das subestações abrigadas e isoladas a gás.

- a) Fluoreto de enxofre ou SF.
- b) Tetrafluoreto de enxofre ou 4 SF .
- c) Sulfato de enxofre ou SF.
- d) Hexafluoreto de enxofre ou 6 SF .
- e) Hexasulfato de enxofre ou 6 SF .



Considere as afirmativas a seguir acerca dos arranjos possíveis para barramentos de subestações:

- I. O arranjo de barramento simples é o mais econômico, porém é o menos seguro, sendo utilizado em subestações de média e alta potência.
- II. No arranjo de barramento com barra seccionada é possível evitar que uma falha provoque a sua completa paralisação, isolando apenas a parte da subestação com falha.
- III. No arranjo de barramento do tipo principal e transferência, caso uma emergência ocorra em que o disjuntor principal é retirado de serviço para manutenção, o fechamento da linha à barra auxiliar ocorre através do fechamento da chave de *bypass*.

Assinale a alternativa correta com relação às afirmativas.

- a) Somente a I é verdadeira.
- b) Somente a II é verdadeira.
- c) Somente a III é verdadeira.
- d) Somente a I e II são verdadeiras.
- e) Somente a II e III são verdadeiras.



As subestações de energia elétrica exercem um papel de extrema importância nos sistemas elétricos de potência. Nas subestações é local onde os níveis de tensão são elevados para a transmissão econômica de energia elétrica, ou reduzidos para os níveis adequados da distribuição.

Avalie as afirmativas a seguir acerca dos tipos de subestações de energia elétrica:

- I - As subestações de distribuição trabalham com a tensão de 13,8 kV a 34,5 kV;
- II - As subestações de subtransmissão de energia elétrica trabalham com a tensão de 69 kV a 138 kV;
- III - As subestações de transmissão trabalham com a faixa de tensão a partir de 230 kV

É correto o que afirma em:

- a. III apenas.
- b. I e III apenas.
- c. I e II apenas.
- d. I apenas.
- e. I, II e III.



Ao estudar as subestações de energia precisamos conhecer os equipamentos que as compõem, assim como os tipos de subestações de energia e funções que as diferenciam.

Avalie a sentença a seguir preenchendo suas lacunas:

Basicamente, podemos classificar as subestações quanto _____ , _____ , _____ e _____.

Assinale a alternativa que completa corretamente o texto do enunciado.

a.função / nível de tensão / tipo de instalação / forma de operação

b.função / localização / tipo de instalação / forma de operação

c.função / nível de tensão / tipo de instalação / transformação

d.nível de tensão / tipo de instalação / forma de operação / localização

e.função / nível de tensão / tipo de instalação / localização



Além de configurar as subestações de energia elétrica como pontos de interconexão da rede elétrica é importante mencionar que algumas das operações de controle e proteção são realizadas exatamente nas subestações. Os equipamentos que realizam medidas nas subestações também servem como uma valiosa fonte de informação para avaliar o estado do sistema como um todo. Assim sendo, as SEs têm papel fundamental na implementação de funções de automação do sistema elétrico, em direção aos chamados Smart Grids (redes inteligentes).

Com base nas subestações de energia, avalie a asserção a seguir preenchendo suas lacunas:

As SEs compreendem o “Conjunto de instalações elétricas em média ou alta tensão que agrupa os equipamentos, condutores e acessórios, destinados à _____ , _____ , _____ e _____ de grandezas elétricas”

Agora assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas da asserção.

- a. medição / manobra / transformação / distribuição
- b. proteção / manobra / transformação / distribuição
- c. proteção / medição / transformação / distribuição
- d. proteção / medição / manobra / distribuição
- e. proteção / medição / manobra / transformação