



Inst. Pablo Bosco

# SUBESTAÇÕES

## Sistema Elétrico de Potência - SEP



Desenvolvimento Industrial

# SUBESTAÇÃO

---

A NBR 5460 - SEP Terminologia, define Subestação (SE) como sendo parte de um sistema de potência, concentrada em um dado local, compreendendo primordialmente as extremidades de linha de transmissão e/ou distribuição, com respectivos dispositivos de manobra, controle e proteção, contendo transformadores, equipamentos conversores e/ou outros equipamentos.



# SUBESTAÇÃO

---

Quanto a função as SE podem ser classificadas em:

- ✓ Subestações transformadoras
- ✓ Subestações seccionadoras, de manobra ou de chaveamento



# SUBESTAÇÃO

---

## Subestações transformadoras

São aquelas que alteram o nível de tensão de entrada para um nível maior ou menor na saída. Elas designadas como SE transformadoras elevadoras, ou SE transformadoras abaixadoras.



# Subestação Araxá 1



# SUBESTAÇÃO

---

Subestações seccionadoras, de manobra ou de chaveamento

Interligam circuitos sob o mesmo nível de tensão, também possibilita o seccionamento de circuitos em casos de falhas e suprimentos.



# Subestação Araxá 2

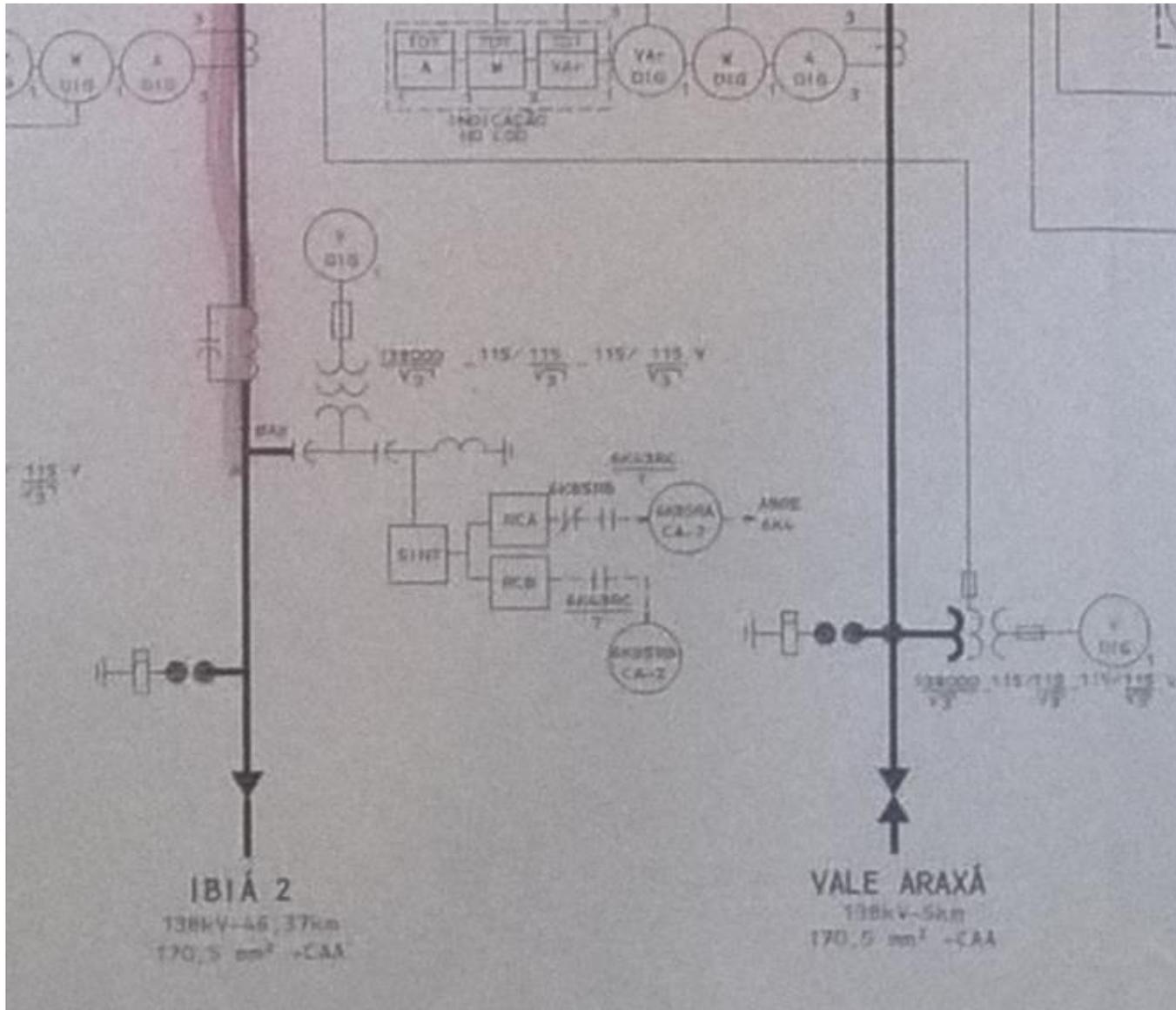


# SUBESTAÇÃO

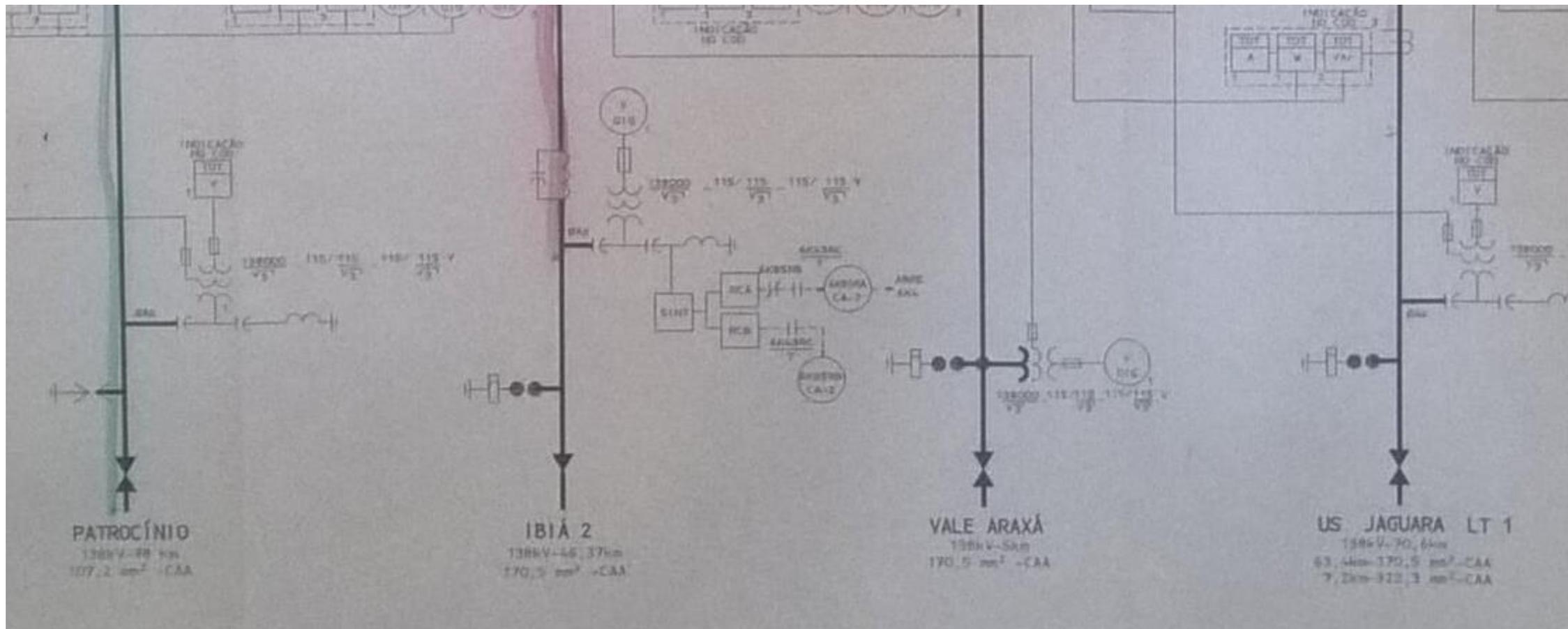
---

Em uma mesma SE podem haver os dois tipos de sistemas, uma parte da SE é de transformação e outra de manobras e seccionamento.





# Subestação Araxá 1



# SUBESTAÇÃO

---

Quanto ao tipo de instalação as SE podem ser classificadas em:

- ✓ Subestações a céu aberto
- ✓ Subestações abrigadas ou em interiores
  - ✓ Subestações blindadas



# SUBESTAÇÃO

---

A diferença entre as SE está no fato de que o céu aberto exige equipamentos adequados para ficarem expostos as condições atmosféricas adversas.



# SUBESTAÇÃO

As SE blindadas possuem seus equipamentos e dispositivos contidos dentro de invólucros metálicos, isso faz com que elas não necessitem que grande espaço e oferecem maior segurança nas operações.



# SUBESTAÇÃO

---

## Equipamentos de uma subestação

Os principais equipamentos de uma SE são divididos em:

- equipamentos de transformação,
- equipamentos de manobra,
- equipamentos de compensação de reativo,
- equipamentos de proteção
- equipamentos de medição.



# SUBESTAÇÃO

---

## Equipamentos de transformação

Fazem parte desses equipamentos os transformadores de força e os transformadores de instrumentos.



# SUBESTAÇÃO

## Transformadores de Força



São responsáveis por reduzir a tensão oriunda da LT para valores usuais em Média Tensão.



# SUBESTAÇÃO

**SIEMENS**

**TRANSFORMADOR REGULADOR TELECOMANDADO**

TIPO  N.º FASES  FREQUÊNCIA  INSTALAÇÃO  NORMAS

N.º DE SÉRIE  ANO DE FABRICAÇÃO  LIVRO DE INSTRUÇÕES

ENROLAMENTO DE	POTÊNCIA NOMINAL (kVA)			TENSÃO NOMINAL (V)	CORRENTE NOMINAL (A)			TENSÃO SUPORTÁVEL DE IMPULSO ATMOSFÉRICO ONDA PLENA (kV CRISTA)		TENSÃO SUPORTÁVEL A FREQUÊNCIA INDUSTRIAL (kV EFICAZ)		
	ONAN	ONAF I	ONAF II		ONAN	ONAF I	ONAF II	LINHA	NEUTRO	APLICADA	INDUZIDA	
											CURTA DURAÇÃO	LONGA DURAÇÃO
ALTA TENSÃO	13000	20000	25000	138000	62,8	83,7	104,6	550	—	230	230	251,5
BASSE	5000	20000	25000	13800	627,6	836,7	1045,9	110	110	34	26,7	22,8

IMPEDÂNCIA DE CURTO-CIRCUITO			ELEVACÃO DE TEMPERATURA EM REGIME PERMANENTE			CORRENTES MÁXIMAS DE CURTO-CIRCUITO (kA)			
BASE	RELAÇÃO (V)	Z (%)	ENROLAMENTO		ÓLEO	TERMINAL	SIMÉTRICA	ASSIMÉTRICA	
			MÉDIA	MÁXIMA	MÁXIMA		CORRENTE	DURAÇÃO	CORRENTE
25000 kVA	138000/15180	16,98				AT	0,5	2 (s)	1,4
60 Hz	138000/13800	19,48	55°C	65°C	55°C	BT	5,4	2 (s)	14,8
75°C	138000/12420	26,98							

IMPEDÂNCIA DE SEQUÊNCIA ZERO			TANQUE, CONSERVADOR, RADIADORES E ACESSÓRIOS RESISTENTES A PLENO VÁCUO	CORRENTE DE EXCITAÇÃO (BASE 25000 kVA)	
BASE	RELAÇÃO (V)	(Ω/FASE)		A 100 % DA TENSÃO NOMINAL	A 110 % DA TENSÃO NOMINAL
25000 kVA				0,092 %	
60 Hz	138000/13800	1,5		0,667 %	
75°C					

MASSA TOTAL	56500 kg	VOLUME DO ÓLEO	17650 L
MASSA DA PEÇA MAIS PESADA PARA TRANSPORTE	50800 kg	VOLUME DO ÓLEO DO CDC	246 L
MASSA DA PARTE ATIVA	27700 kg	TIPO DO ÓLEO	MINERAL NAFTENICO
MASSA DO TANQUE E ACESSÓRIOS	13100 kg	ALTURA PARA LEVANTAMENTO DA PARTE ATIVA	5,05 m
MASSA DO ÓLEO	15700 kg	ALTURA PARA LEVANTAMENTO DA BUCHA DE AT	5,09 m
MASSA DO ÓLEO DO CDC	219 kg		



**SENAI**

# SUBESTAÇÃO

ENROLAMENTO DE		POTÊNCIA NOMINAL ( kVA )			TENSÃO NOMINAL ( V )	CORRENTE NOMINAL ( A )		
		ONAN	ONAF I	ONAF II		ONAN	ONAF I	ONAF II
ALTA TENSÃO		15000	20000	25000	138000	62,8	83,7	104,6
BAIXA TENSÃO		15000	20000	25000	13800	627,6	836,7	1045,9

IMPEDÂNCIA DE CURTO-CIRCUITO			ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA EM REGIME PERMANENTE		
BASE	RELAÇÃO ( V )	Z ( % )	ENROLAMENTO		ÓLEO
25000 kVA 60 Hz 75 °C	138000/15180	18.36	MÉDIA	MÁXIMA	MÁXIMA
	138000/13800	19.46	55 °C	65 °C	55 °C
	138000/12420	20.98			

Transformadores de Força



# Curiosidade

## DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES ELÉTRICOS

### Critério da capacidade de corrente de curto-circuito

$$S_c = \frac{\sqrt{T_e} \times I_{cs}}{0,34 \times \sqrt{\log \left( \frac{234 + T_f}{234 + T_i} \right)}}$$

$I_{cs}$  – corrente simétrica de curto-circuito, em kA;

$T_e$  – tempo de eliminação de defeito, em s;

CORRENTES MÁXIMAS DE CURTO-CIRCUITO ( kA )			
TERMINAL	SIMÉTRICA		ASSIMÉTRICA
	CORRENTE	DURAÇÃO	CORRENTE
AT	0,5	2 ( s )	1,4
BT	5,4	2 ( s )	14,8

# SUBESTAÇÃO

## Transformadores de Instrumentos

Os transformadores de instrumentos são os transformadores de corrente - TC e os transformadores de potência - TP.

O TC e TP tem a finalidade de reduzir a corrente e a tensão, respectivamente, a níveis compatíveis com os valores de suprimento de relés e medidores.



# SUBESTAÇÃO

---

## Transformador de Corrente

Os TCs são responsáveis por reduzir o valor da corrente do circuito para se seja aplicada nos instrumentos de medição e proteção.



# SUBESTAÇÃO

---

A NBR 6856 - Transformador de corrente - Especificação e ensaios, define TC como um transformador que se destina a reproduzir em seu circuito secundário, em uma proporção definida e conhecida, uma corrente proporcional ao valor primário.



# SUBESTAÇÃO

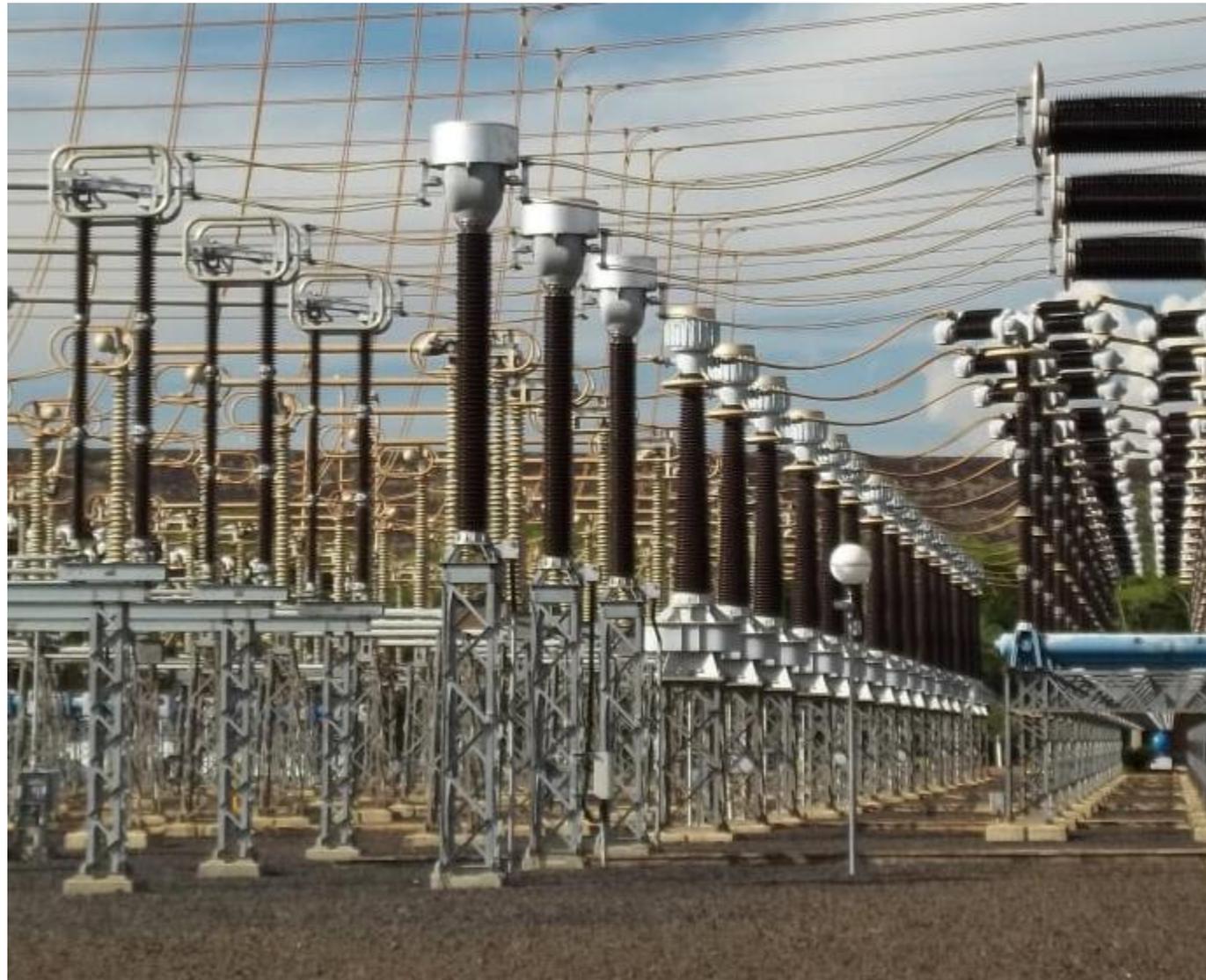
Os TCs são classificados quanto ao tipo construtivo em:

- ✓ TC tipo enrolado
- ✓ TC tipo janela
- ✓ TC tipo barra



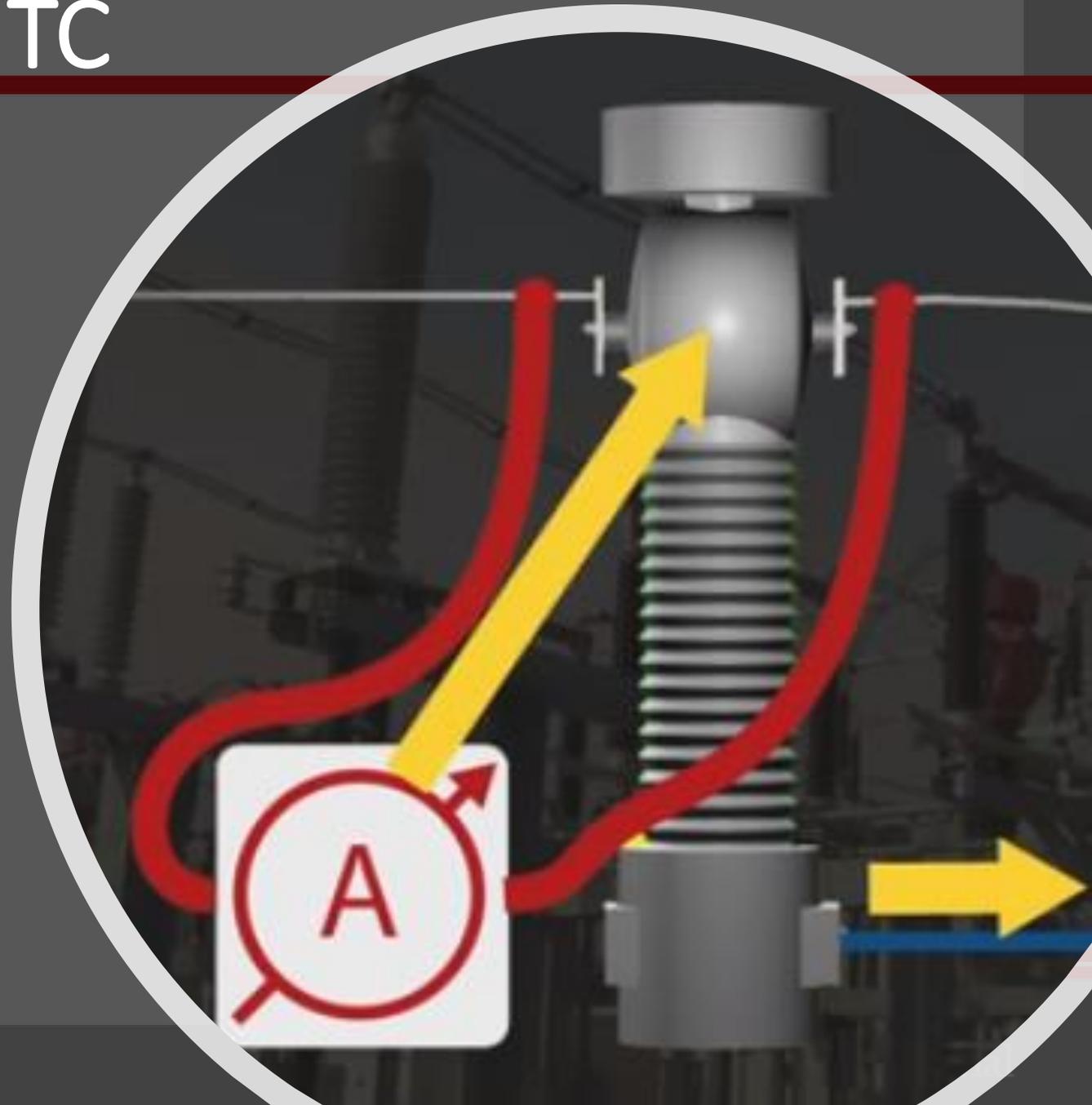
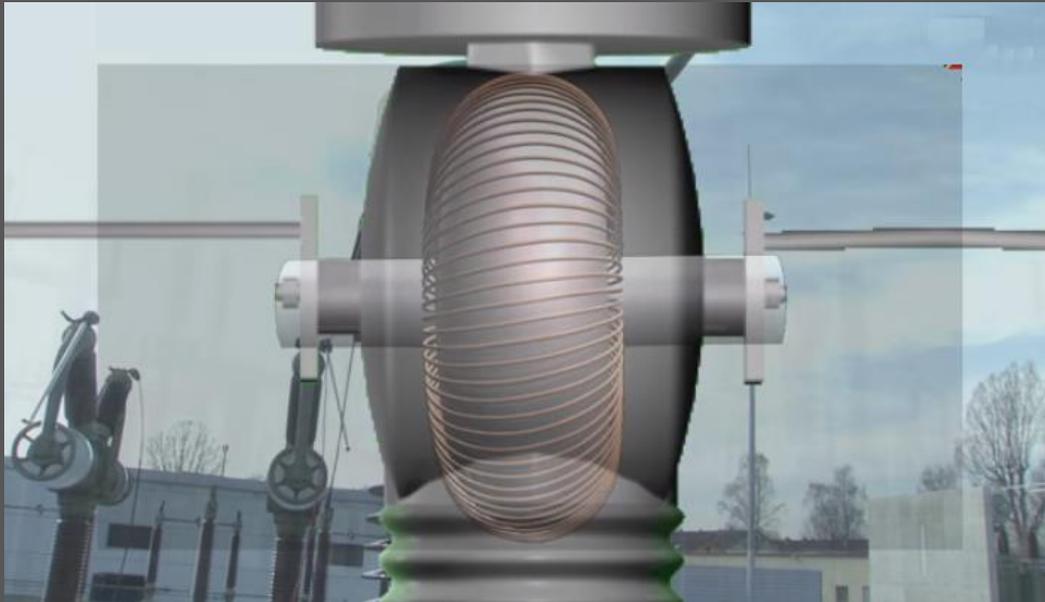
**SENAI**

# SUBESTAÇÃO



**SENAI**

TC



# SUBESTAÇÃO

## Entendendo um pouco mais



Acesse o vídeo clicando [aqui](#)



# SUBESTAÇÃO

---

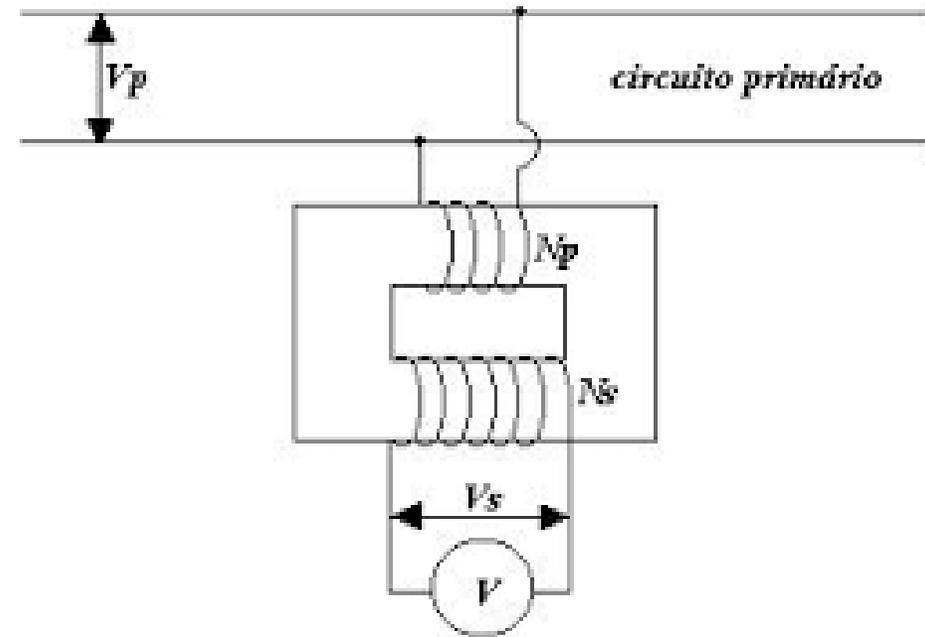
## Transformador de Potência

Os TPs são responsáveis por reduzir o valor da tensão do circuito para níveis compatíveis suportáveis pelos instrumentos de medição.



# SUBESTAÇÃO

## Transformador de Potência



**SENAI**

# SUBESTAÇÃO

---

## Proteção contra descarga atmosféricas e correntes de surtos

A grande maioria das subestações são do tipo céu aberto, isso faz com que elas fiquem susceptíveis as condições climáticas, como sol, chuva, e a estas as descargas atmosféricas.



# SUBESTAÇÃO

---

## Proteção contra descarga atmosféricas e correntes de surtos

Além das descargas atmosférica pode haver surtos de corrente devido a curtos indesejados ocorridos no sistema.

A proteção desses eventos é realiza com o emprego de para-raios.



# SUBESTAÇÃO

---

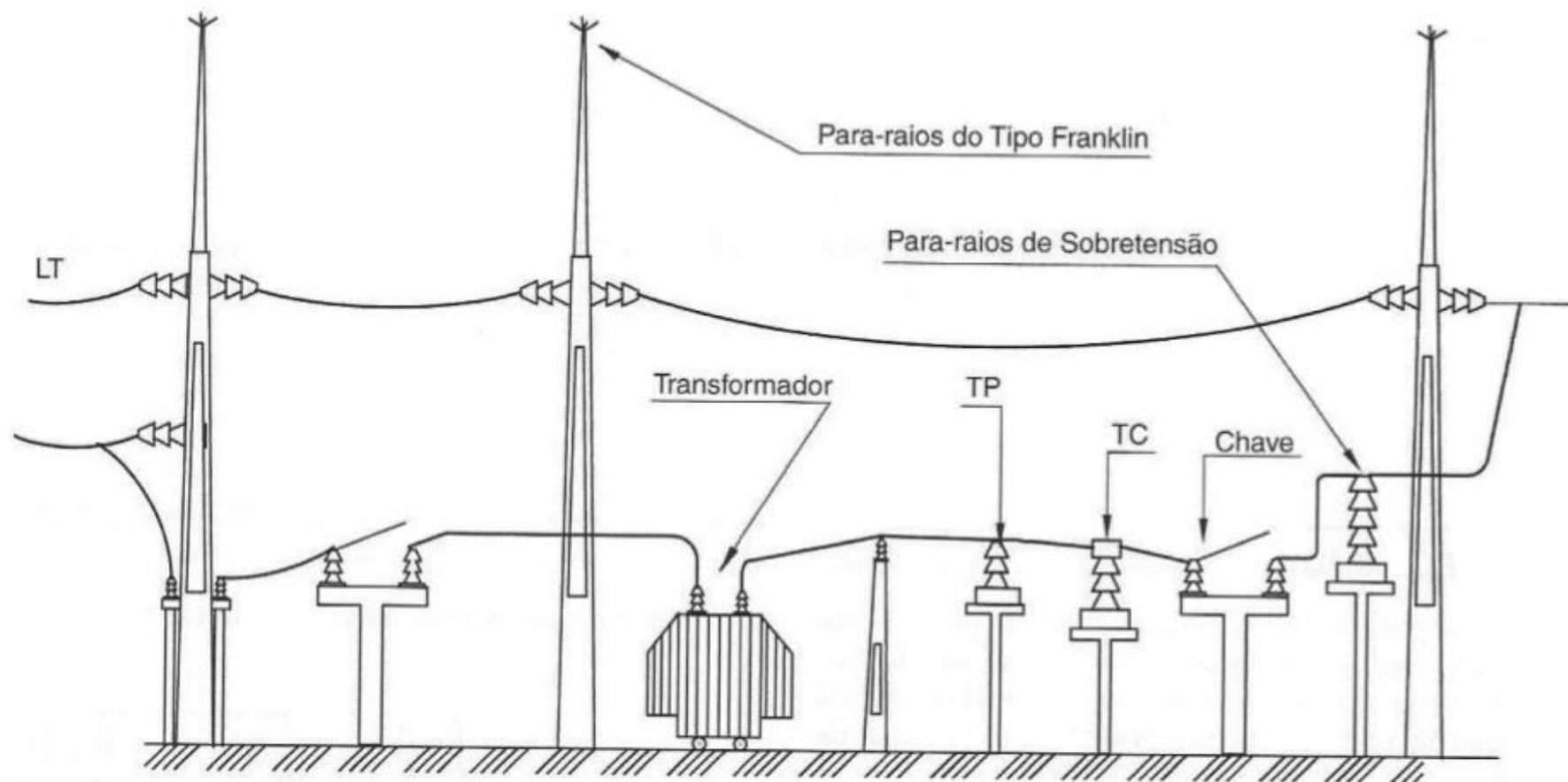
São empregados dois tipos de para raios:

Tipo Franklin - dotados de haste metálica conectada a terra com o objetivo de atrair as descargas elétricas.

Sobretensões- conectados as linhas, as protegem contra descargas atmosféricas e corrente de surtos.



# SUBESTAÇÃO



**SENAI**

# SUBESTAÇÃO



**SENAI**

# SUBESTAÇÃO



# SUBESTAÇÃO

---

Os para raios de sobretensões podem ser com gap e resistor não linear, convencionais (somente com resistores) e de oxido de zinco.

Com gap e resistor não linear - o gap é o elemento que separa eletricamente a rede de resistores não lineares



# SUBESTAÇÃO

---

O gap separa eletricamente a rede de resistores e fraciona o arco para se ter um melhor controle sobre ele.

O resistor não linear é fabricado com carbonato de silício que em baixas tensões tem alta resistência e em altas tensões resistência baixa.

O óxido de zinco é outro tipo de material não linear, com características melhores.



# SUBESTAÇÃO

---

Para que o sistema de proteção seja realmente eficiente é necessário ter um bom sistema de aterramento.



# SUBESTAÇÃO

---

A NBR 15751 - Sistemas de aterramentos de subestações, define sistema de aterramento como sendo o conjunto de todos os eletrodos de aterramento, interligados ou não, assim como partes metálicas que atuam direta e indiretamente com a função de aterramento.



# SUBESTAÇÃO

---

O sistema de aterramento deve suportar os esforços térmicos decorrentes da circulação de corrente de curto, e o estabelecimento de uma geometria de malha para o controle dos potenciais de passo e toque.



# SUBESTAÇÃO

---

A seção mínima do condutor empregado na malha de aterramento é de:

- cobre – 50mm<sup>2</sup>
- aço (protegido contra corrosão) – 38mm<sup>2</sup>



# SUBESTAÇÃO

---

O dimensionamento correto da seção mínima do condutor da malha de aterramento é calculado pela equação de Onderdonk.

Por ela encontra a seção do condutor capaz de suportar os efeitos da circulação da corrente de curto.



# SUBESTAÇÃO

$$S = I_f \sqrt{\frac{t \times \alpha_r \times \rho_t \times 10^4}{TCAP \times \ln \frac{(k_0 + T_m)}{(k_0 + T_a)}}}$$

- $S$  é a seção, expressa em milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ );
- $I_f$  é a corrente de falta fase-terra, expressa em quiloampères (kA);
- $t$  é o tempo, expresso em segundos (s);
- $\alpha_r$  é o coeficiente térmico de resistividade do condutor a  $t$  °C ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ );
- $\rho_t$  é a resistividade do condutor de aterramento a  $t$  °C, expressa em ohm x centímetro ( $\Omega \times \text{cm}$ );
- $TCAP$  é o fator de capacidade térmica, em joule por centímetro cúbico vezes graus Celsius [ $\text{J}/(\text{cm}^3 \times ^{\circ}\text{C})$ ];
- $T_m$  é a temperatura máxima suportável, expressa em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), conforme Tabela;
- $T_a$  é a temperatura ambiente, expressa em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $k_0 = 1/\alpha_0$  ou  $(1/\alpha_r) - T_r$ ;
- $k_0$  é o coeficiente térmico de resistividade do condutor a 0 °C;
- $T_r$  é a temperatura de referência das constantes do material, em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).



# SUBESTAÇÃO

Tipo do condutor	Condutância %	Coeficiente térmico de resistividade		Temperatura de fusão <sup>a</sup> (°C)	Resistividade $\rho^r$ (20 °C)	TCAP [J/(cm <sup>3</sup> ×°C)]
		$\alpha^0$ (0 °C)	$\alpha^r$ (20 °C)			
Cobre (macio)	100,0	0,004 27	0,003 93	1 083	1,724	3,422
Cobre (duro)	97,0	0,004 13	0,003 81	1 084	1,777	3,422
Aço cobreado 40%	40,0	0,004 08	0,003 78	1 084	4,397	3,846
Aço cobreado 30%	30,0	0,004 08	0,003 78	1 084	5,862	3,846
Haste de aço <sup>b</sup>	9,8	0,001 65	0,001 60	1 400	17,50	4,44
Aço zincado	8,5	0,003 41	0,003 20	419	20,1	3,931



**SENAI**

# SUBESTAÇÃO

---

A complexidade de um bom aterramento da subestação se dá pelo fato da CEMIG não possuir neutro, o neutro é proveniente do terra da subestação, e extensão malha de terra existente na distribuição primária e secundária.



# SUBESTAÇÃO

---

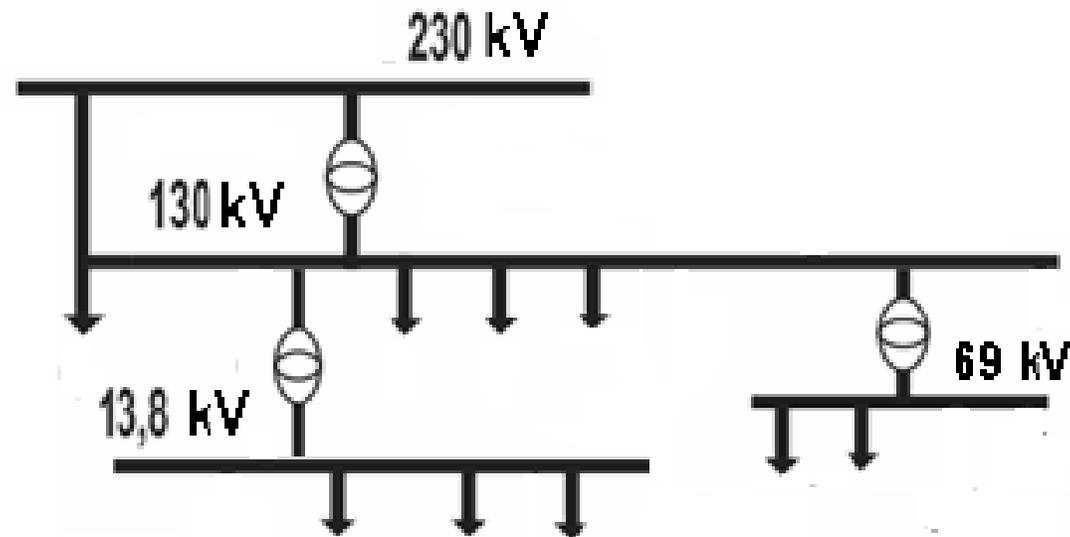
## Aterramento de equipamentos

A NBR 15751 recomenda o aterramento da carcaça de todos os equipamentos diretamente na malha de terra, por condutor de mesma seção que o da malha.



# SUBESTAÇÃO

Se observar um diagrama de uma SE, perceberá que ele possui linhas horizontais onde nelas são ligadas diversas linhas verticais.



# SUBESTAÇÃO

---

Essas linhas são chamadas de barramento. Barramentos são circuitos constituídos por condutores de impedância desprezível, ao qual são ligados linhas e equipamentos.



# SUBESTAÇÃO

---

Os barramentos podem ser construídos em diversos arranjos, e estes consideram a disponibilidade, manutenibilidade, flexibilidade operacional e custo.



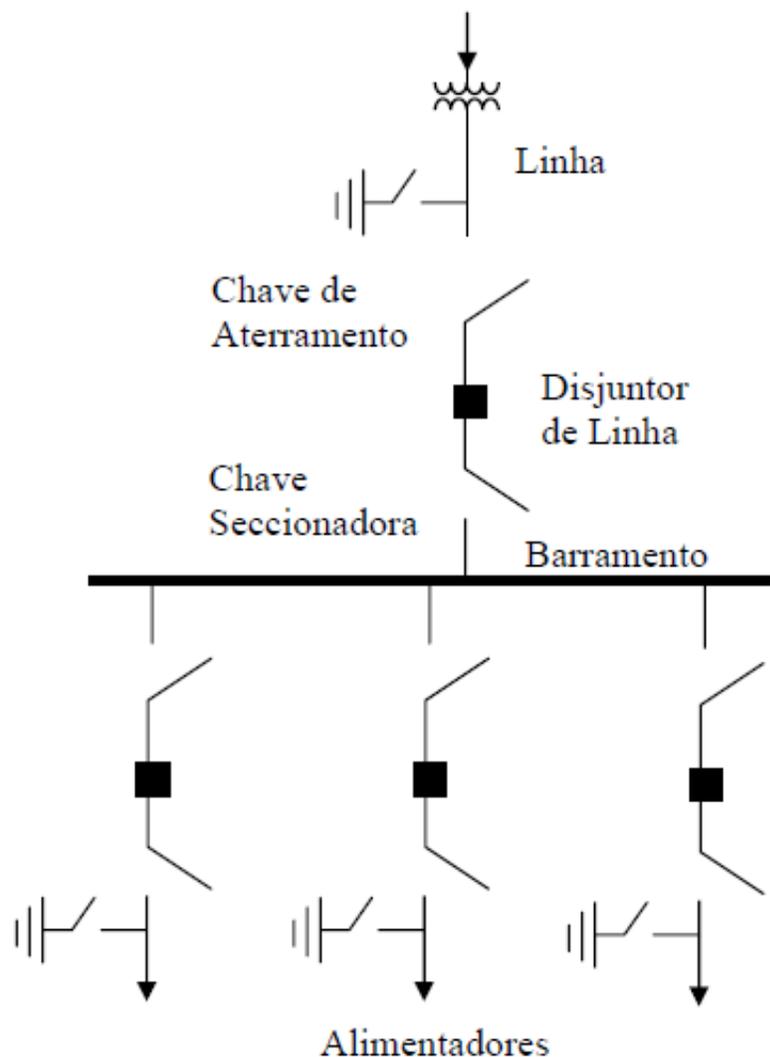
# SUBESTAÇÃO

Os arranjos dos barramentos podem ser:

- ✓ Barramentos simples
- ✓ Duplo barramento simples
- ✓ Barramento simples seccionado
- ✓ Barramento principal e de transferência
- ✓ Barramento duplo com um disjuntor ( com disjuntor duplo; de disjuntor e meio)
  - ✓ Barramento em anel



# SUBESTAÇÃO

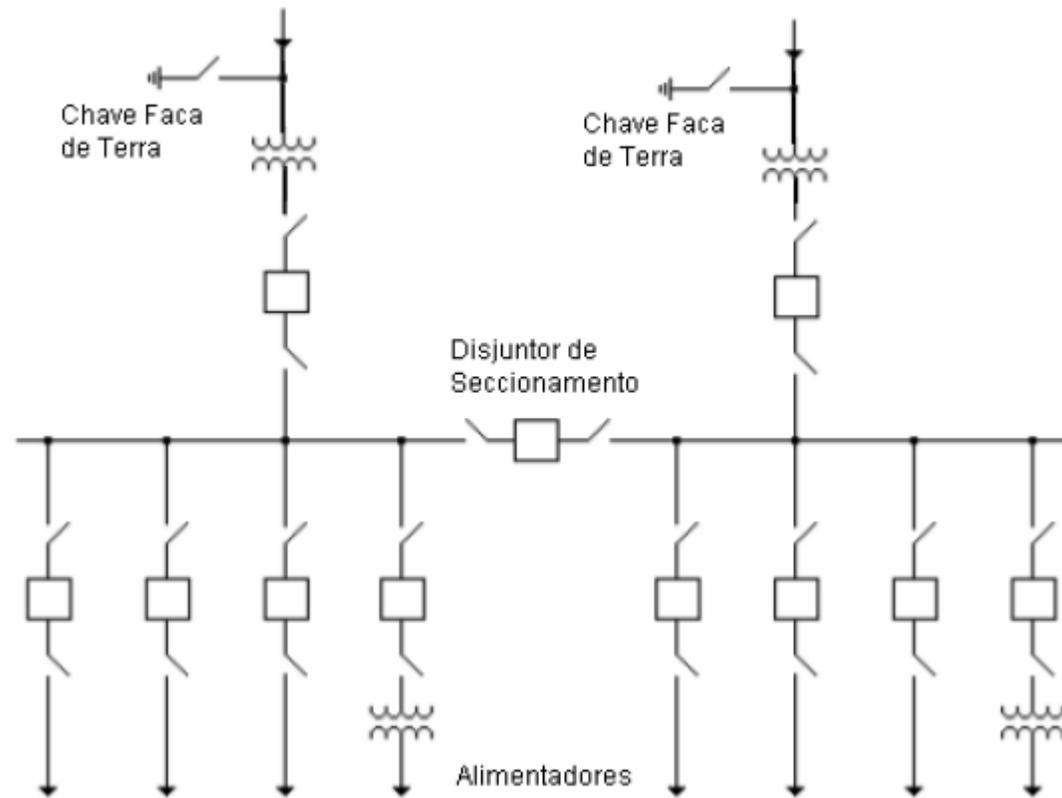


**Barramento Simples**  
É o mais simples, contando com um único disjuntor que alimenta uma barra e nela são ligados todos os alimentadores.



# SUBESTAÇÃO

## Barramento Simples Seccionado



# SUBESTAÇÃO

---

## Barramento Simples Seccionado

Esse arranjo possui uma única barra, particionada em duas, com um disjuntor de barra.

Ele é mais indicado para sistemas que possuem duas fontes de energia.

Sua vantagem é a flexibilidade de manutenção sem deixar alimentadores sem energia.



# SUBESTAÇÃO

---

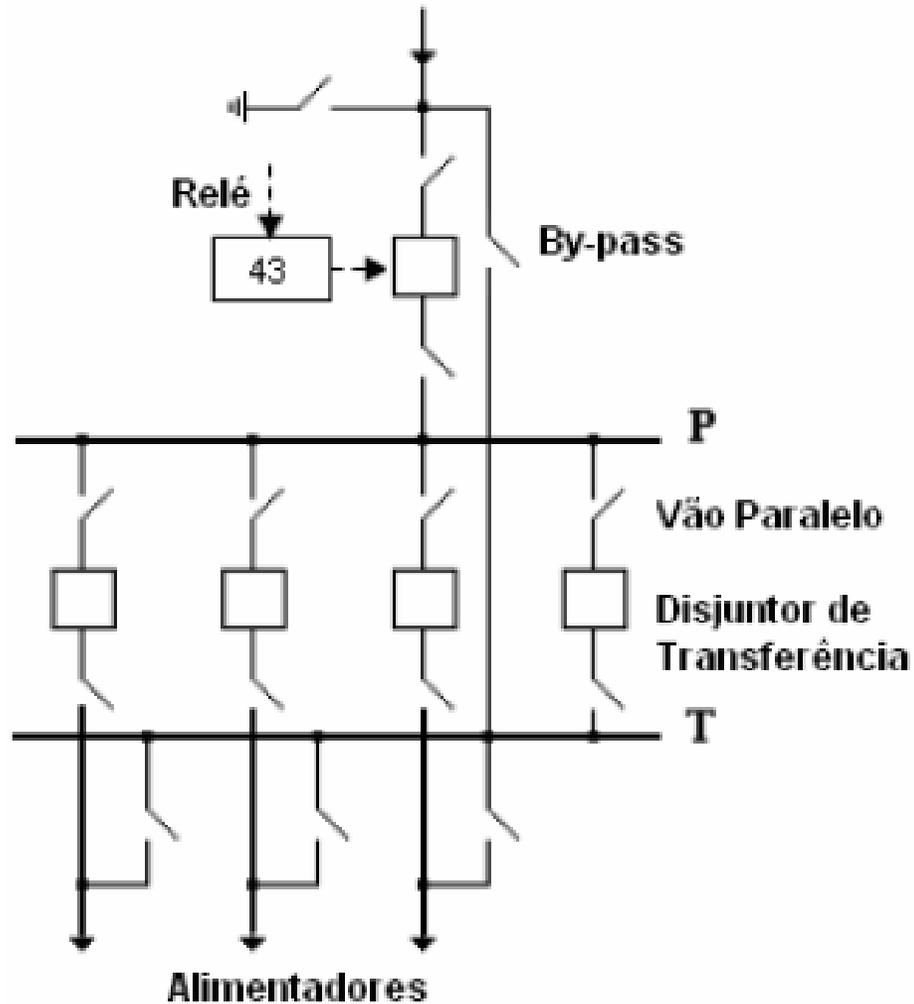
## Barramento Principal e de Transferência

Esse arranjo possui duas barras, uma linha de by-pass e um disjuntor de transferência.

Na falta, ou manutenção, do disjuntor principal o disjuntor de transferência entra, e se qualquer dos disjuntores dos alimentadores necessitarem de manutenção, o disjuntor de transferência o supre.



# SUBESTAÇÃO



Barramento Principal e de Transferência



# SUBESTAÇÃO

---

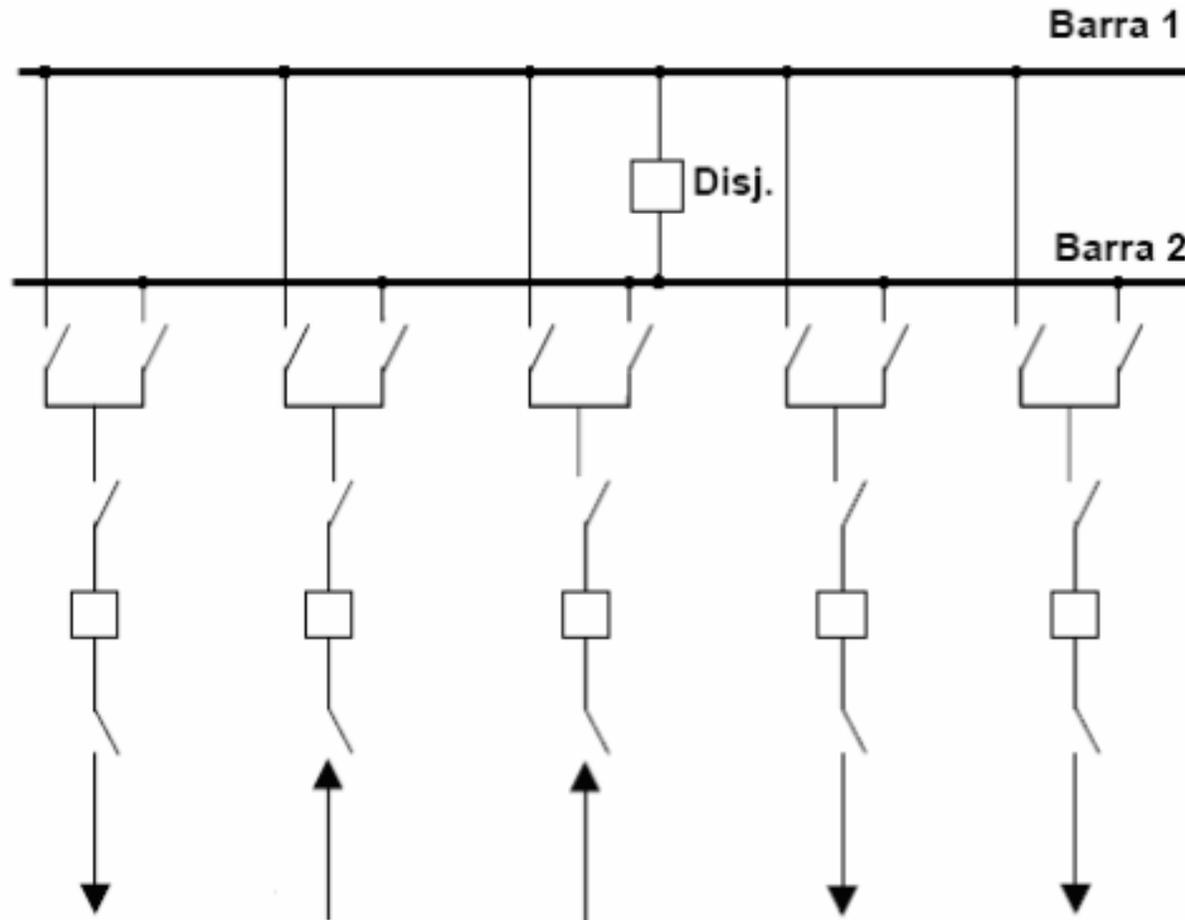
## Barramento Duplo com um Disjuntor

Neste arranjo existe duas barras em paralelo e um disjuntor que faz a conexão entre elas. Qualquer alimentador pode ser conectado a qualquer barra, o que permite maior flexibilidade do sistema.



# SUBESTAÇÃO

## Barramento Duplo com um Disjuntor



# SUBESTAÇÃO

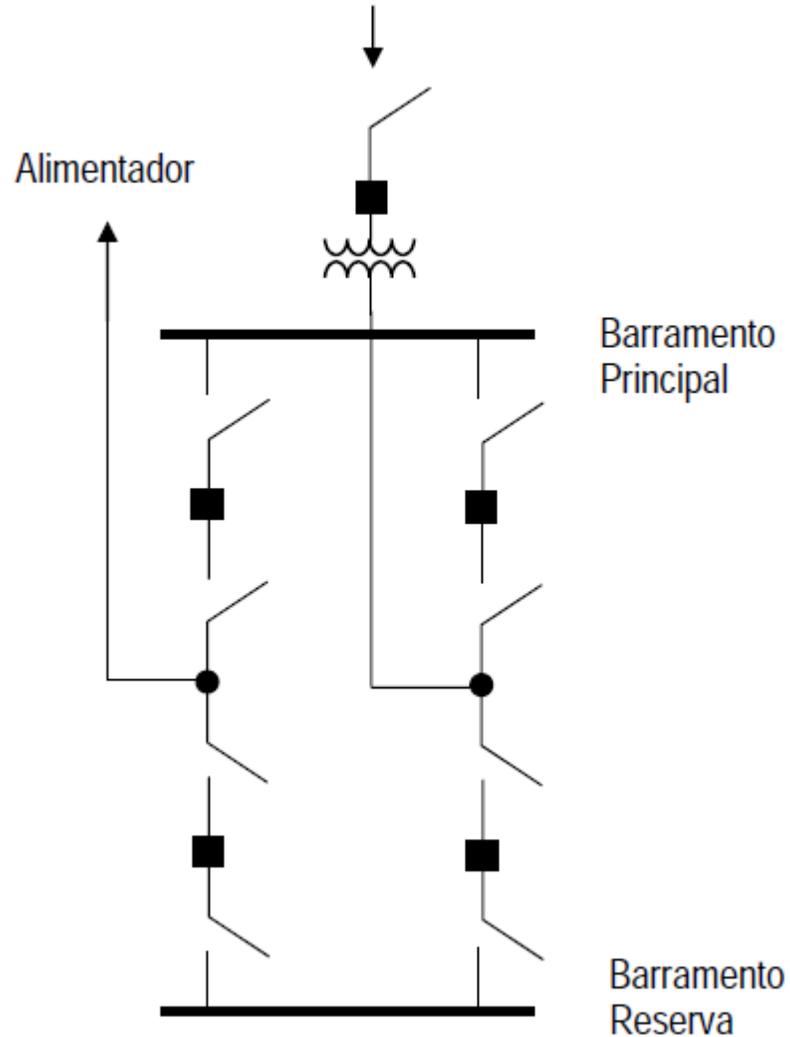
---

## Barramento Duplo com Disjuntor Duplo

Este arranjo possui duas barras, uma principal e uma reserva, e dois disjuntores que fazem a proteção e a interligação entre as barras e os alimentadores. Na falta de uma barra ou disjuntor, o sistema continua operante, pois algumas manobras garante a alimentação de uma ou ambos os barramentos.



# SUBESTAÇÃO



## Barramento Duplo com Disjuntor Duplo



# SUBESTAÇÃO

---

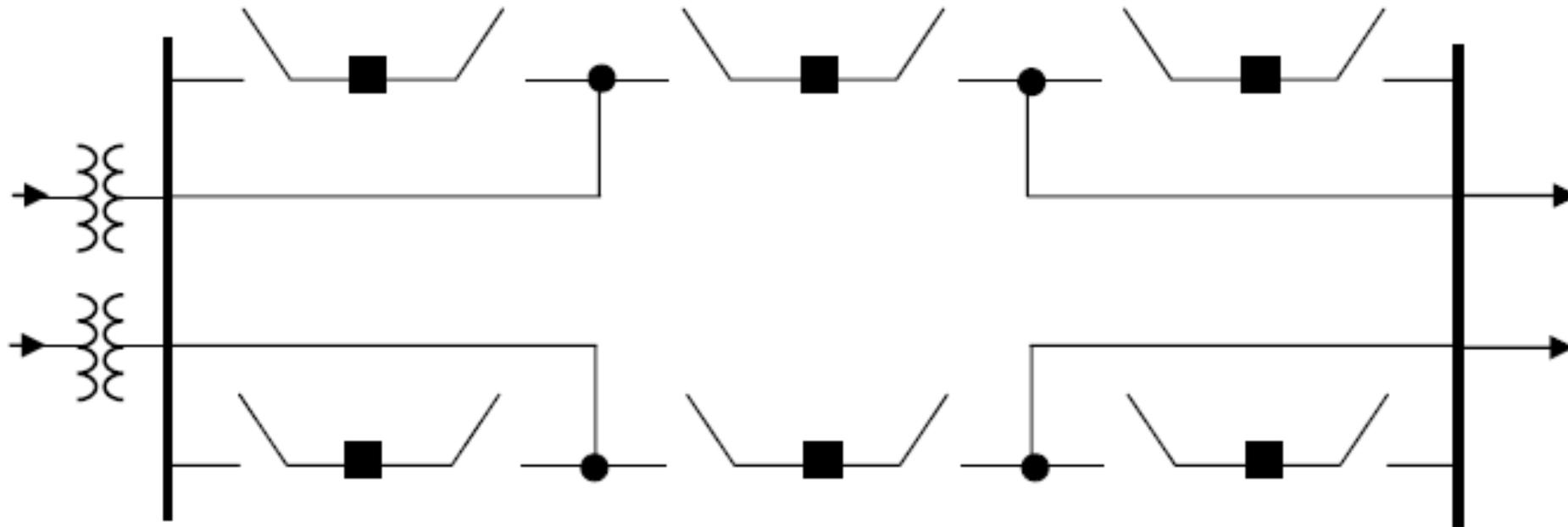
## Barramento de Disjuntor e Meio

Este arranjo se parece com o arranjo de disjuntor duplo, mas há um disjuntor e meio protegendo o circuito. Neste arranjo são três disjuntores em série ligando uma barra dupla, de modo que eles protegem dois circuitos.



# SUBESTAÇÃO

## Barramento de Disjuntor e Meio



**SENAI**

# SUBESTAÇÃO

---

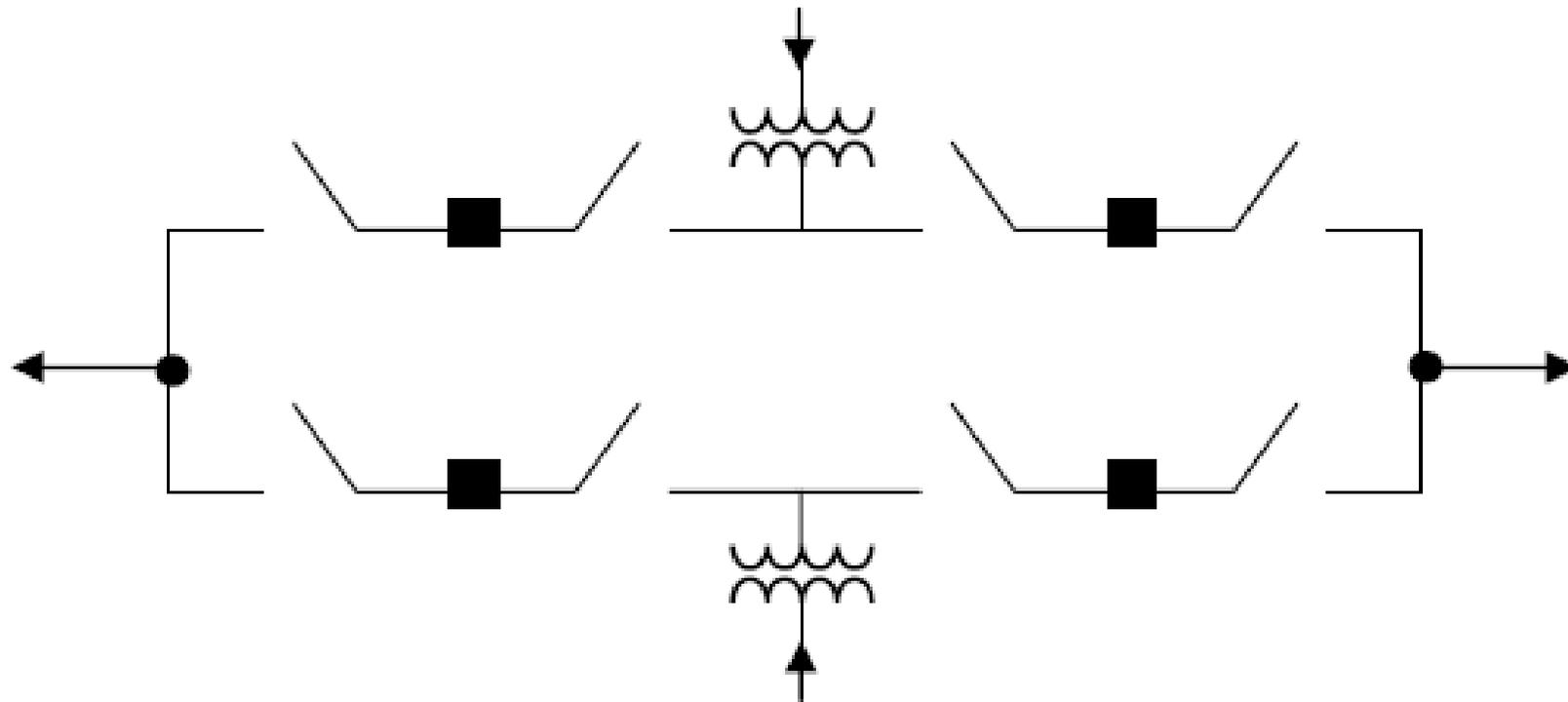
## Barramento em Anel

Neste arranjo o barramento se transforma em um circuito fechado, a energização dos alimentadores pode ser feita por dois caminhos. Em caso de falha somente o trecho da falha ficará isolado, mas em consequência o circuito fica aberto.



# SUBESTAÇÃO

## Barramento em Anel



**SENAI**

# Perguntas

