

INSTITUTO FEDERAL  
Santa Catarina

# TÉCNICO EM ELETROELETRÔNICA

---

## Transformadores

### Disciplina de Eletromagnetismo

Professor Tarcísio Pollnow Kruger

[tarcisiokruger@gmail.com](mailto:tarcisiokruger@gmail.com) – [tarcisio.kruger@ifsc.edu.br](mailto:tarcisio.kruger@ifsc.edu.br)

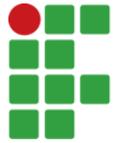
Itajaí – SC

2016

# TÉCNICO EM ELETROELETRÔNICA

---

## Sumário



## Transformadores

### Introdução

Todo **transformador** é uma máquina elétrica cujo princípio de funcionamento está baseado nas leis de Faraday e Lenz (Indução Eletromagnética):

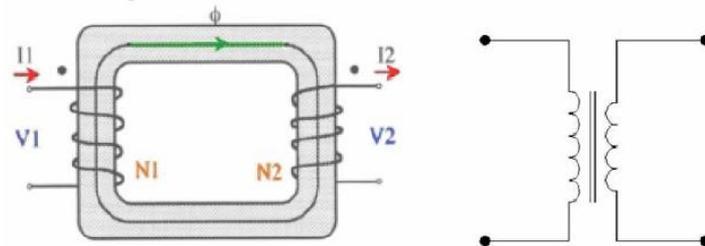
## Transformadores

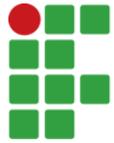
### Introdução

**Lei de Faraday:** Em todo condutor enquanto sujeito a uma **variação** de fluxo magnético é estabelecida uma força eletromotriz (**tensão**) **induzida**.

**Lei de Lenz:** O **sentido** da corrente induzida é tal que origina um fluxo magnético **induzido**, que se **opõe** à variação do fluxo magnético **indutor**.

$$\bar{e} = -N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$





## Transformadores

### Introdução

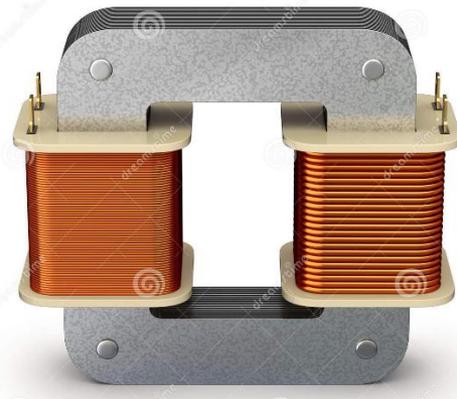
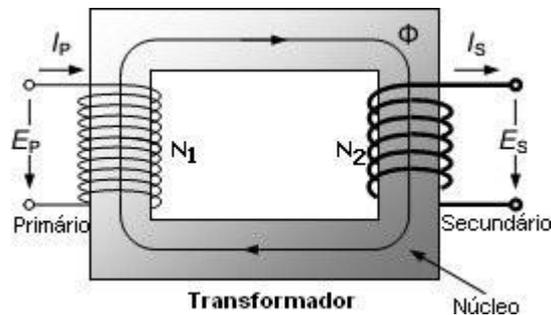
**Definição:** A **ABNT** (Associação Brasileira de Normas Técnicas) define **Transformador** como:

- “Um dispositivo que por meio da indução eletromagnética, transfere, energia elétrica de um ou mais circuitos (primário) para outro ou outros circuitos (secundário), usando a mesma frequência, mas geralmente, tensões e intensidades de correntes diferentes.”

## Transformadores

### Introdução

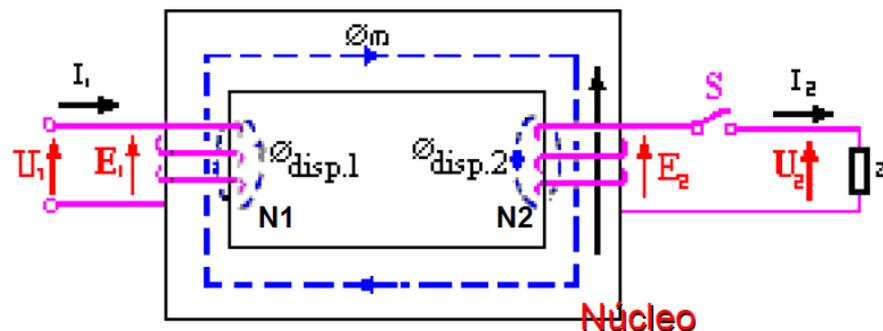
Assim, o transformador é um **conversor de energia eletromagnética**, cuja operação pode ser explicada em termos do comportamento de um circuito magnético, **excitado por uma corrente alternada**.



## Transformadores

### Funcionamento

Se aplicarmos uma tensão  $E_1$  alternada ao primário, circulará por por este enrolamento uma corrente  $I_1$  alternada, que por sua vez dará condições ao surgimento de um fluxo magnético também alternado ( $\phi_m$ ).

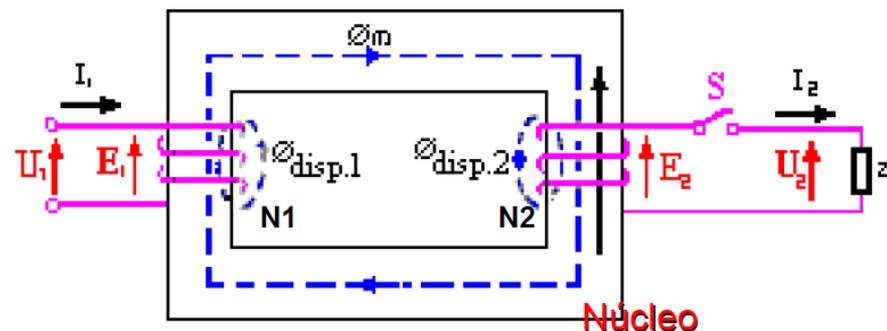


## Transformadores

### Funcionamento

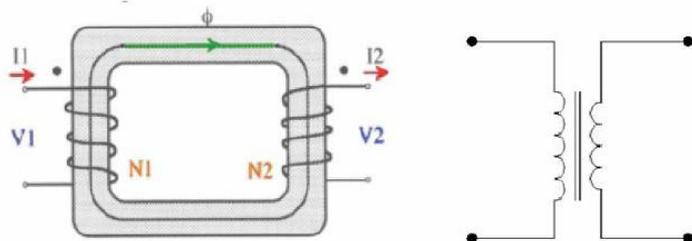
A maior parte deste fluxo ficará confinado no núcleo, uma vez que é o caminho de menor relutância.

Este fluxo dará origem a uma força eletromotriz induzida (f.e.m)  $E_1$  no primário e  $E_2$  no secundário (Lei de Faraday) proporcionais ao número de espiras dos relativos enrolamentos,  $N_1$  e  $N_2$ .

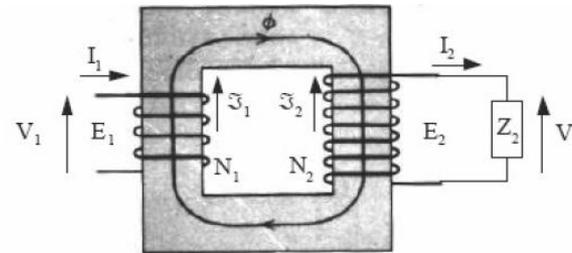


## Transformadores

### Transformador ideal ou sem perdas



Representação do transformador ideal.



Transformador ideal com carga.

### Equação fundamental dos transformadores (monofásicos):

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- Se  $a > 1$ , o trafo é **ABAIXADOR** de tensão.
- Se  $a < 1$ , o trafo é **ELEVADOR** de tensão.
- Se  $a = 1$ , o trafo é **ISOLADOR**.

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

onde:

$a$ : relação de transformação.

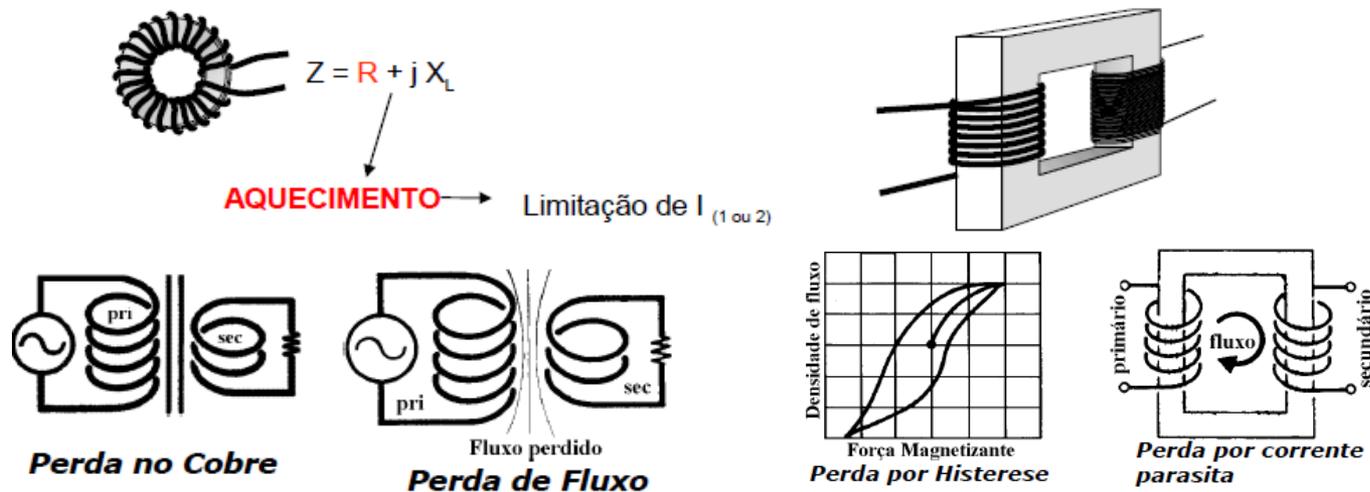
$V_1, V_2$ : tensão eficaz nos enrolamentos primário e secundário, [V].

$N_1, N_2$ : número espiras nos enrolamentos primário e secundário.

$I_1, I_2$ : correntes nos enrolamentos primário e secundário, [A].

## Transformadores

### Transformador real



**PERDAS NO COBRE:** devido à resistência dos fios nos enrolamentos ( $P=RI^2$ );

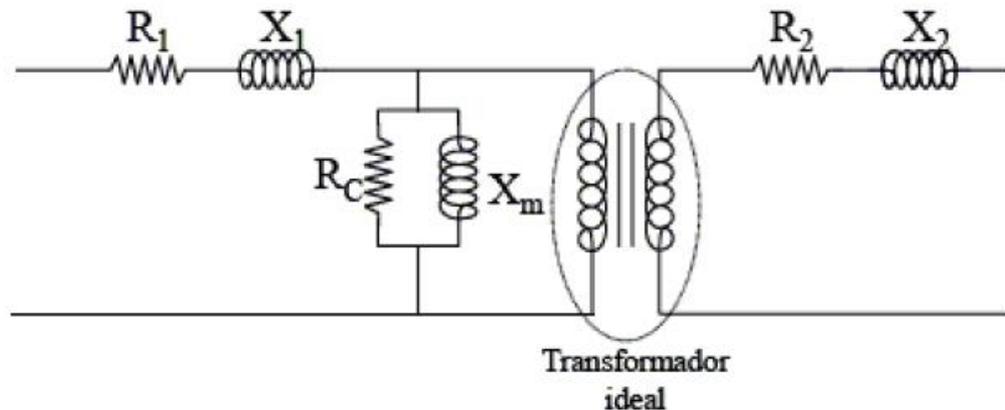
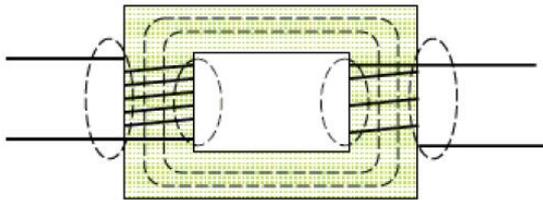
**PERDAS NO FERRO:**

- **Perdas por Histerese:** devido à energia para alinhar os domínios magnéticos e inverter o alinhamento com a inversão da corrente.
- **Perdas por corrente parasita:** devido a corrente induzida que flui no núcleo (para evitar utiliza-se um núcleo laminado ou chapas).

## Transformadores

### Transformador real – circuito equivalente

O circuito equivalente do transformador é formado por **resistências e indutâncias**.



Onde:

$R_1, R_2$ : resistência das bobinas,  $[\Omega]$  (representam as **perdas Joule, cobre**);

$X_1, X_2$ : indutância de dispersão,  $[\Omega]$  (representam as **perdas de fluxo**);

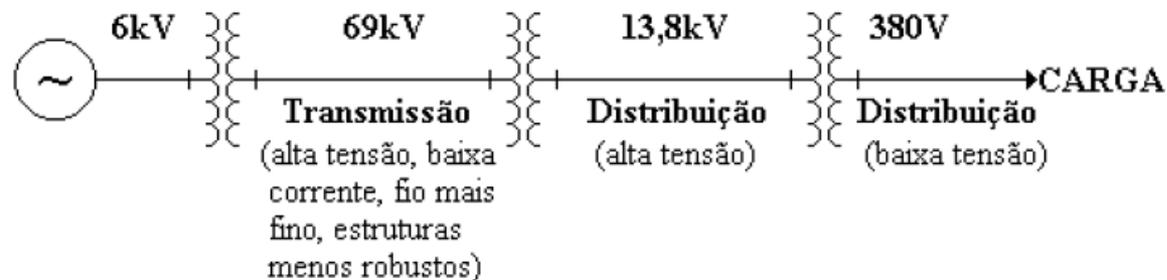
$R_c$ : resistência de **perdas no ferro**,  $[\Omega]$ ;

$X_m$ : reatância de magnetização,  $[\Omega]$ .

## Transformadores

### Aplicações

- **Alteração de níveis de tensão e corrente** entre dois circuitos. Ex.: Sistemas de energia elétrica.



## Transformadores

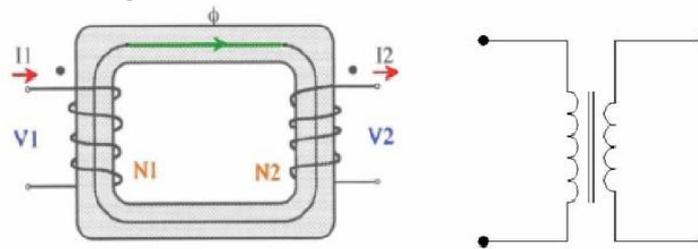
### Aplicações

- **Isolamento** para **corrente contínua** entre circuitos, mantendo a continuidade para corrente alternada.
- **Casamento de impedâncias** em circuitos eletrônicos (permite obter a máxima transferência de potência).
- **Medição** (transformador de potencial – **TP** e transformador de corrente **TC**).

## Transformadores

### Transformador monofásico

São transformadores que possuem apenas um conjunto de bobinas de Alta e Baixa tensão colocados sobre um núcleo.



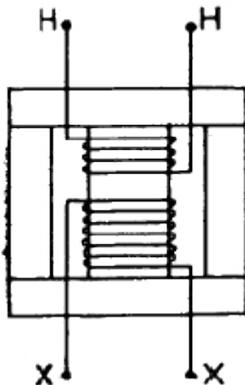
## Transformadores

### Transformador monofásico

**Nomenclatura utilizada nos enrolamentos:**

**H** – utilizado para se referir aos enrolamentos de alta tensão;

**X** – utilizado para se referir aos enrolamentos de baixa tensão;



## Transformadores

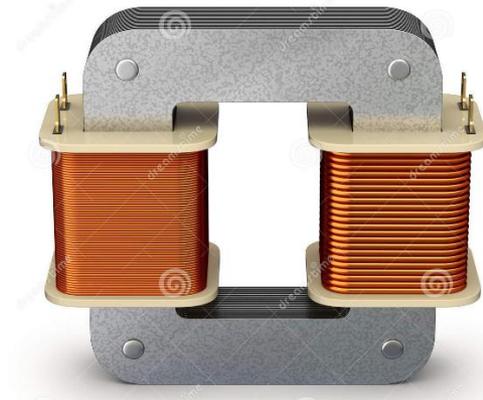
### Transformador monofásico

**Tipo de núcleo:**

**Núcleo envolvido:** neste tipo de núcleo os enrolamentos colocados sobre as colunas envolvem o respectivo circuito magnético sem serem envolvidos por estes. Também conhecido como tipo *core*.



Monofásico

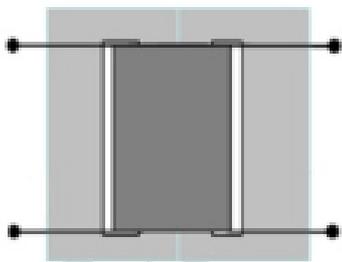


## Transformadores

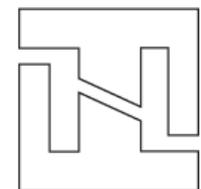
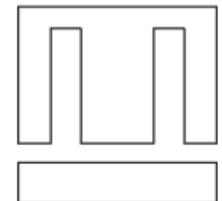
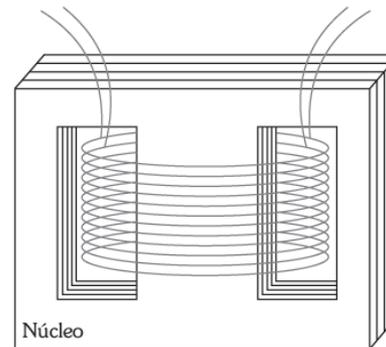
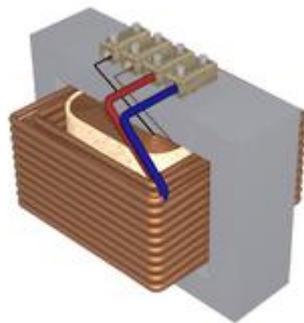
### Transformador monofásico

**Tipo de núcleo:**

**Núcleo envolvente:** neste tipo de núcleo os enrolamentos colocados sobre as colunas envolvem o respectivo circuito magnético sem serem envolvidos por estes.



Monofásico

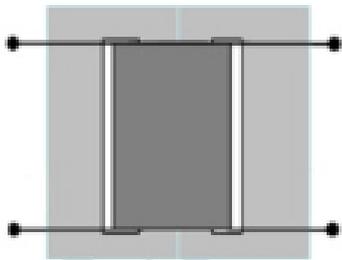


## Transformadores

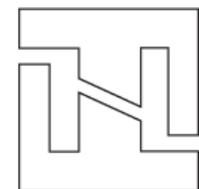
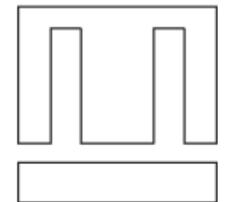
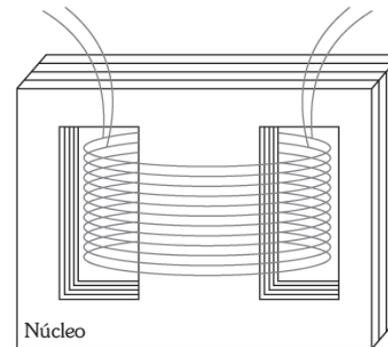
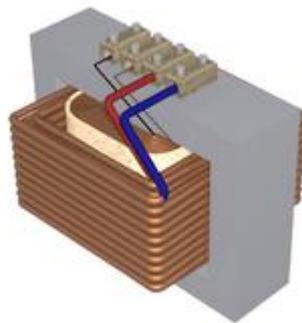
### Transformador monofásico

**Tipo de núcleo:**

**Núcleo envolvente:** este núcleo aumenta a quantidade de material de ferro magnético, e conseqüentemente aumenta o rendimento, isso se dá porque o fluxo encontra caminhos paralelos internamente ao ferro.



Monofásico

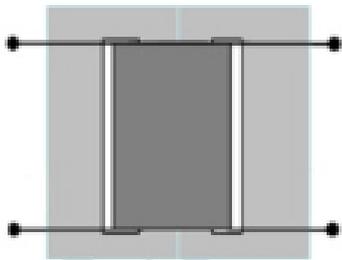


## Transformadores

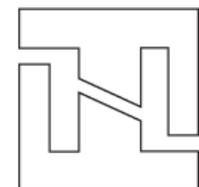
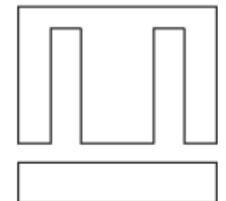
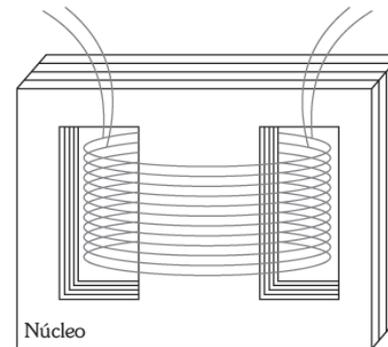
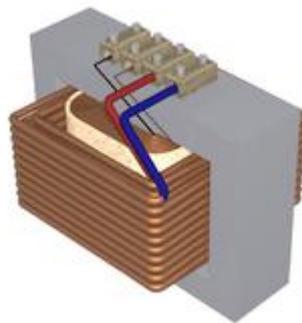
### Transformador monofásico

Tipo de núcleo:

**Núcleo envolvente:** Obtêm-se dessa forma, o máximo acoplamento magnético. Também conhecido como tipo *shell*.



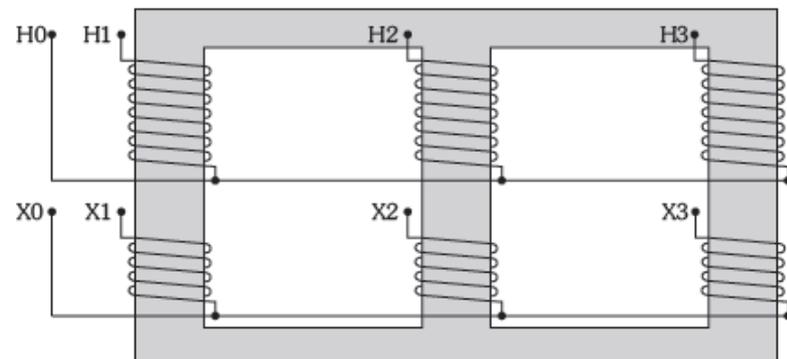
Monofásico



## Transformadores

### Transformador trifásico

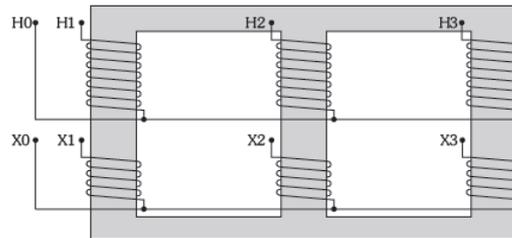
São transformadores que possuem três conjuntos de bobinas de Alta e Baixa tensão colocadas sobre um núcleo. O funcionamento é idêntico a um transformador monofásico, uma vez que sua constituição é de três transformadores monofásicos entre si.



## Transformadores

### Transformador trifásico

É largamente empregado nas indústrias e em sistemas de distribuição.

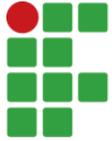


## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Parâmetros importantes:

**Tensão nominal** : São valores de tensão projetados e especificados pelo fabricante para funcionamento adequado do equipamento. Sempre que ligar um transformador devemos observar as suas tensões nominais para não danificar qualquer elemento do circuito.



## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Parâmetros importantes:

**Potência nominal:** É a máxima potência que pode ser transferida do enrolamento primário para o enrolamento secundário sem danos ao equipamento. Essa potência é especificada pelo fabricante e deve ser contida na placa de identificação. É fornecida em VA, KVA, MVA.

## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Parâmetros importantes:

**Classe de isolamento (térmico):** É a classe que determina o valor da temperatura que os componentes do transformador podem suportar sem sofrerem alterações em suas características. É dada em °C.

Classe (°C)	Designação	Materiais
90	O	Algodão, seda, papel não impregnados
105	A	Algodão, seda, papel impregnado, imersos em líquido isolante
130	B	Mica, fibra de vidro, epóxi
155	F	Mica, fibra de vidro
180	H	Elástomeros de silicone, mica, fibra de vidro
Acima de 180	C	Porcelana, mica, vidro, quartzo, material orgânico

## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Parâmetros importantes:

**Classe de tensão de isolamento:** É a classe que determina o valor de tensão que os componentes devem suportar sem danos as suas características iniciais. É dado em KV. Exemplo: A tensão de alimentação do transformador de distribuição é de 13,8 KV e a classe de isolamento é de 15 KV.

## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Isolamento

Em transformadores de alta e média tensões, os bornes de ligação são sustentados por isoladores que os mantêm a uma distância adequada da carcaça do transformador.



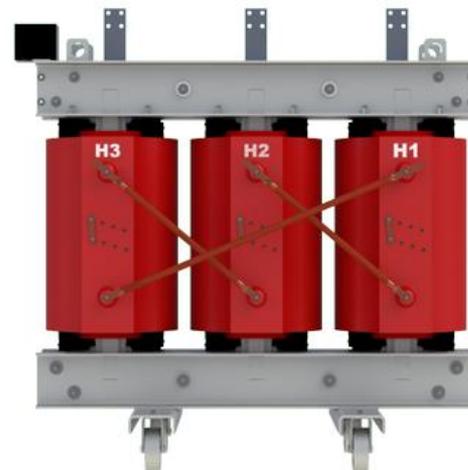
## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Isolamento

Segundo a ABNT, existem duas classes de isolamento de transformadores:

- A seco;
- A óleo isolante.

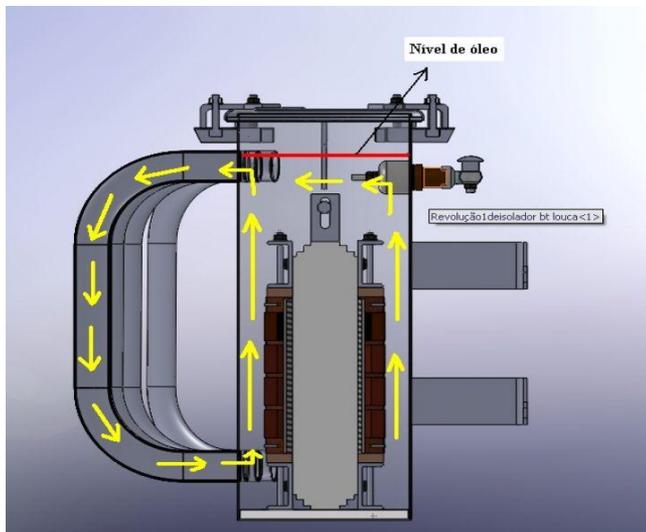


## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Isolamento

Todos transformadores de potência acima de 20 KVA e tensão acima de 6 KV, são construídos de maneira a trabalhar imersos em óleo isolante.

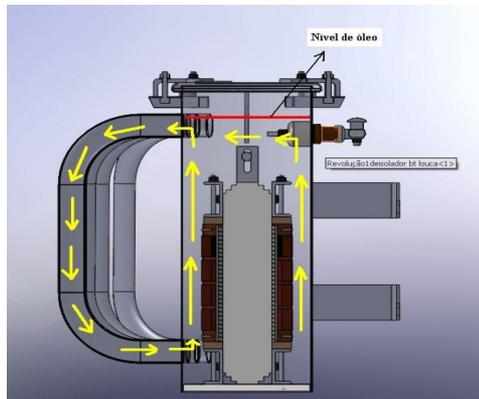


## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Isolamento

O óleo tem a função de **aumentar a rigidez dielétrica do meio**, assim como **agente de dissipação do calor** gerado pelas perdas no transformador.



## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Isolamento

Transformadores à óleo exigem cuidados especiais com relação as propriedades de isolamento e transporte de calor. São necessários cuidados referentes a:

- Comportamento químico;
- Ponto de Inflamação e ponto de combustão;
- Viscosidade;



## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Isolamento

- Perdas por evaporação;
- Rigidez dielétrica;
- Controle de acidez.



## Transformadores

### Transformador trifásico

**Paralelismo de transformadores:** A operação em paralelo de transformadores é de grande importância quer seja para aumento da potência transmitida, quer seja para melhoria da confiabilidade do sistema. Para adequada operação em paralelo os transformadores devem atender certos requisitos básicos, listados a seguir.

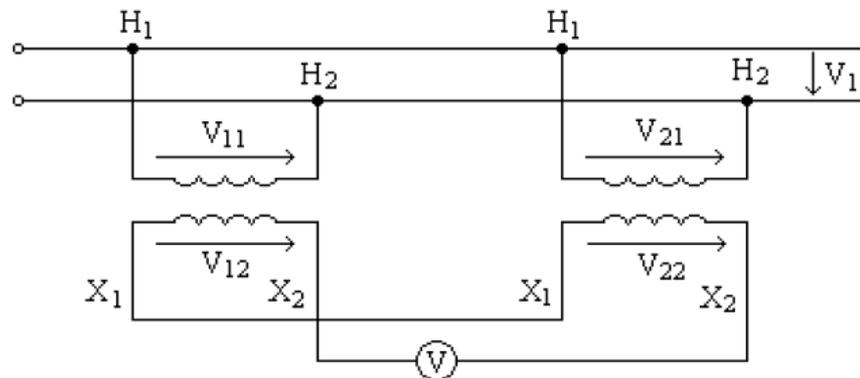
## Transformadores

### Transformador trifásico

Paralelismo de transformadores:

Condições fundamentais:

- 1 – Mesma relação de transformação;
- 2 – Polarização ou defasamento angular conveniente.



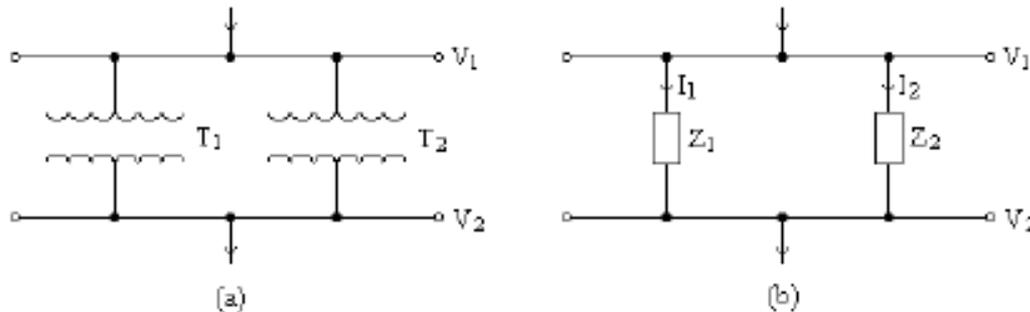
## Transformadores

### Transformador trifásico

Paralelismo de transformadores:

Condições de otimização:

- 1 – Mesma impedância percentual;
- 2 – Mesma relação entre resistência e reatância.

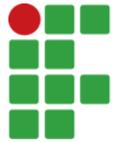


## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Paralelismo de transformadores:

Com o intuito de atender as condições fundamentais para ligação paralela de transformadores, deve-se atentar que o transformador trifásico, por possuir três bobinas tanto no primário quanto no secundário, permite algumas ligações distintas (estrela, triângulo, zig-zag), as quais podem causar um deslocamento angular (defasagem) entre as tensões do primário e do secundário.

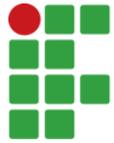


## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Paralelismo de transformadores:

Deve-se atentar quanto as ligações do transformador, pois estando os secundários de dois transformadores com deslocamentos angulares distintos entre si, não se faz possível realizar o paralelismo.



## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Paralelismo de transformadores:

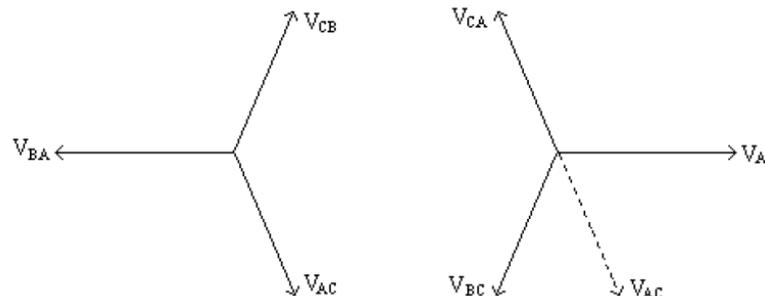
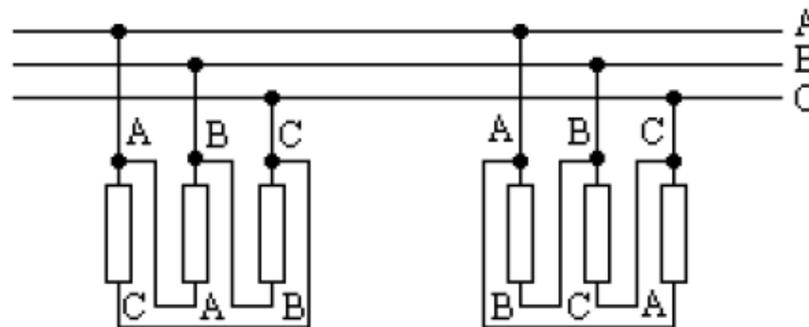
Mesmo os dois transformadores utilizando a mesma conexão no primário pode ocorrer mudança no defasamento angular caso ocorra a mudança na sequência da ligação.

## Transformadores

### Transformador trifásico

Paralelismo de transformadores:

Ligação triângulo

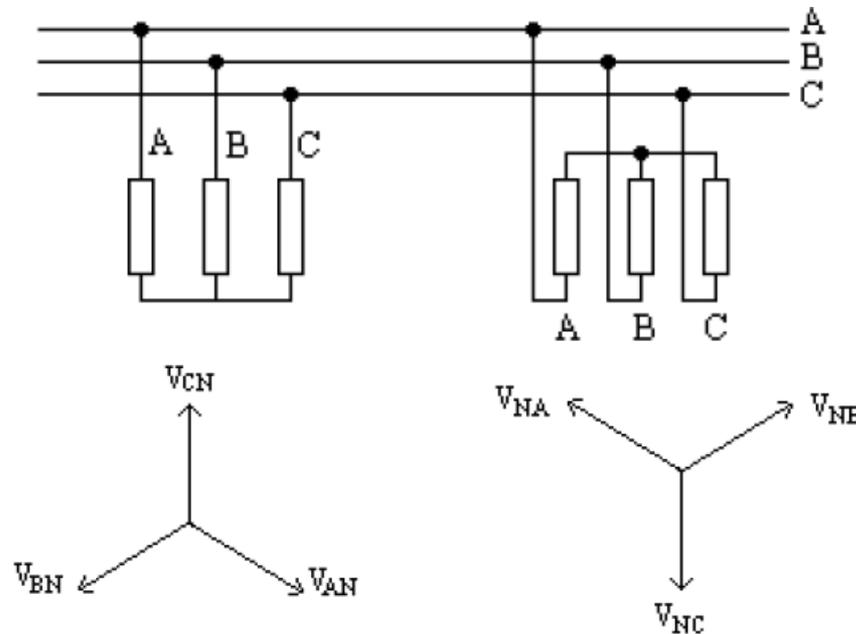


## Transformadores

### Transformador trifásico

Paralelismo de transformadores:

Ligação estrela

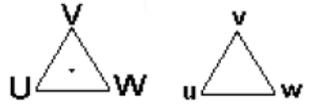
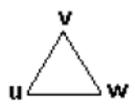
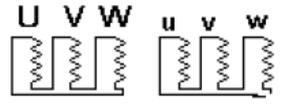
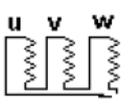
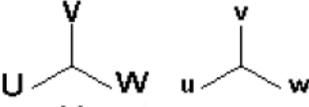
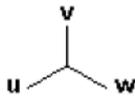
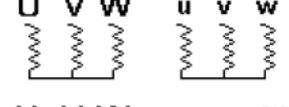
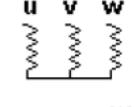
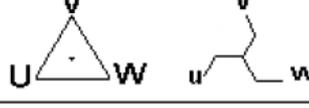
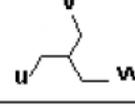
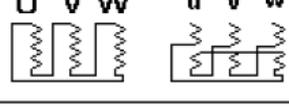
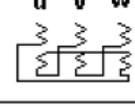


## Transformadores

### Transformador trifásico

Paralelismo de transformadores:

Grupos de ligações

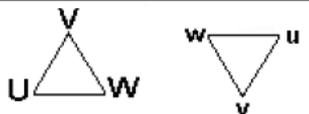
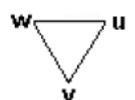
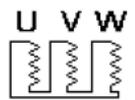
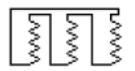
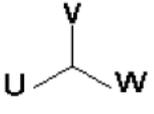
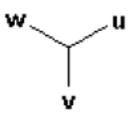
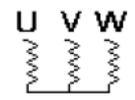
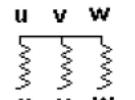
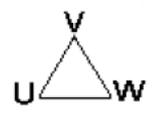
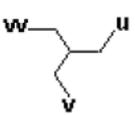
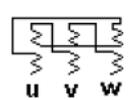
DESFASE (ang. de Bt. en Rétraso	DESIGNACION		DIAG. VECTORIAL		ESQUEMA CONEXIONES		
	n°	L.E.C	V.D.E	ALTA TENSION	BAJA TENSION	ALTA TENSION	BAJA TENSION
0°		Dd 0	A1				
		Yy 0	A2				
		Dz 0	A3				

## Transformadores

### Transformador trifásico

Paralelismo de transformadores:

Grupos de ligações

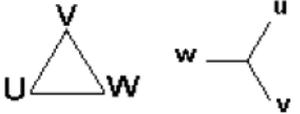
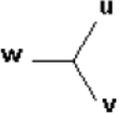
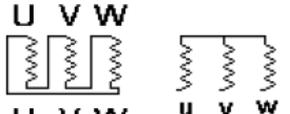
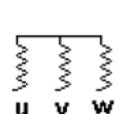
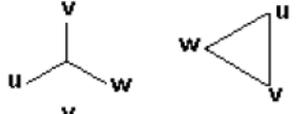
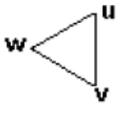
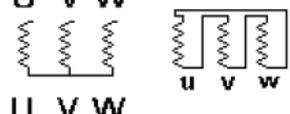
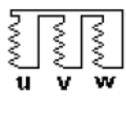
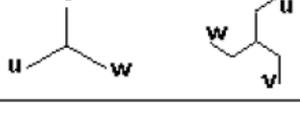
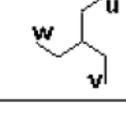
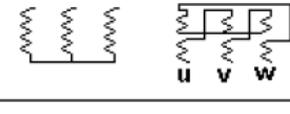
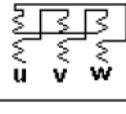
DESFASE (ang. de Bt. en Retraso)	DESIGNACION		DIAG. VECTORIAL		ESQUEMA	CONEXIONES	
	n'	L.E.C	V.D.E	ALTA TENSION	BAJA TENSION	ALTA TENSION	BAJA TENSION
180°		Dd 6	B1				
		Yy 6	B2				
		Dz 6	B3				

## Transformadores

### Transformador trifásico

Paralelismo de transformadores:

Grupos de ligações

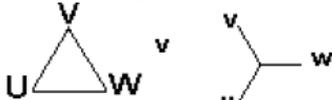
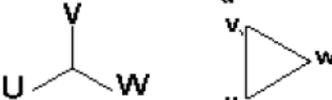
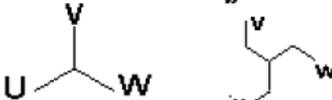
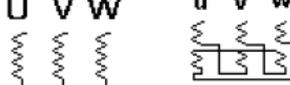
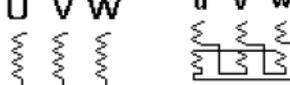
DESFASE (ang. de Bt. en Rétraso)	DESIGNACION		DIAG. VECTORIAL		ESQUEMA CONEXIONES		
	n'	L.E.C	V.D.E	ALTA TENSION	BAJA TENSION	ALTA TENSION	BAJA TENSION
150°		D <sub>y</sub> 5	C1				
		Y <sub>d</sub> 5	C2				
		Y <sub>z</sub> 5	C3				

## Transformadores

### Transformador trifásico

Paralelismo de transformadores:

Grupos de ligações

DESFASE (ang. de Bt. en Retraso)	DESIGNACION		DIAG. VECTORIAL		ESQUEMA	CONEXIONES
	n°	L.E.C	V.D.E	ALTA TENSION	BAJA TENSION	ALTA TENSION
-30°		D <sub>y</sub> 11	D1			
		Y <sub>d</sub> 11	D2			
		Y <sub>z</sub> 11	D3			

## Transformadores

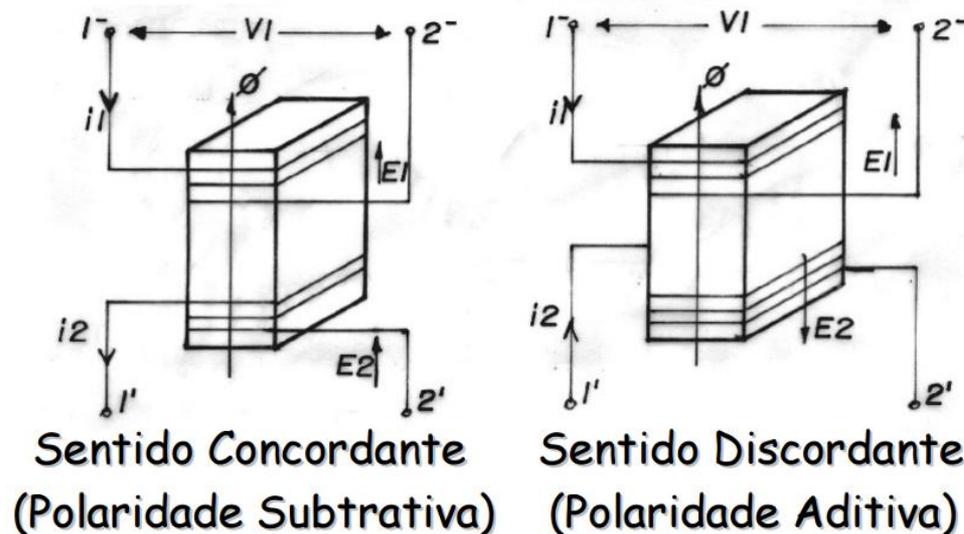
### Transformador trifásico

**Polarização de um transformador:** Polarizar o transformador é organizar todas as suas bobinas, tanto as do primário quanto do secundário, de forma que elas tenham polaridade definida e conhecida, evitando que, ao executarmos uma ligação, haja inversão de polaridade não planejada.

## Transformadores

### Transformador trifásico

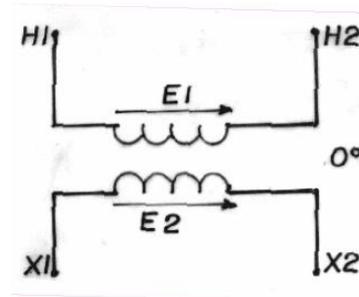
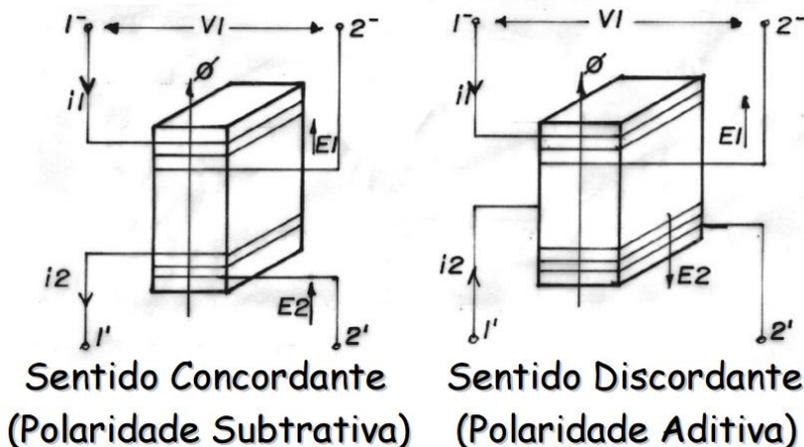
**Polarização de um transformador:** A polaridade depende de como são enroladas as espiras do primário e do secundário que podem ter sentidos concordantes ou discordantes. Este sentido tem aplicação direta quanto à polaridade da força eletromotriz (fem).



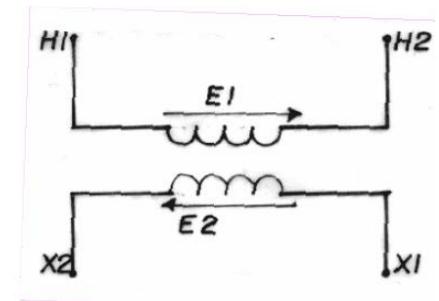
## Transformadores

### Transformador trifásico

**Polarização de um transformador:** Quando o enrolamento das bobinas é no mesmo sentido, a polaridade é chamada de **subtrativa**. No caso das bobinas no sentido contrário, a polaridade é **aditiva**.



Polaridade Subtrativa



Polaridade Aditiva

## Transformadores

### Transformador trifásico

**Polarização de um transformador:** Existem algumas formas conhecidas de executarmos a polarização de um transformador. A primeira delas é conhecida como **golpe indutivo** e a outra como **polarização em CA**. As diferenças entre os dois métodos de polarização estão na complexidade de execução do método, necessidades de instrumentos incomuns e risco de descargas na execução do ensaio. Ainda existe uma terceira forma que consiste na utilização de um transformador de polaridade conhecida (**transformador padrão**).

## Transformadores

### Transformador trifásico

#### **Polarização de um transformador:**

**Golpe indutivo:** O golpe indutivo consiste em aplicar uma tensão CC no primário e observar a resposta em um galvanômetro conectado no secundário. O mesmo padrão de resposta deve ser considerado para os três enrolamentos que são marcados de acordo com esta resposta.

## Transformadores

### Transformador trifásico

#### **Polarização de um transformador:**

**Polarização CA:** Esse método consiste em alimentar um dos enrolamentos com tensão reduzida e ligar os outros enrolamentos em série até que tenhamos a soma das tensões de cada enrolamento. A cada etapa marcamos os terminais dos enrolamentos já polarizados.

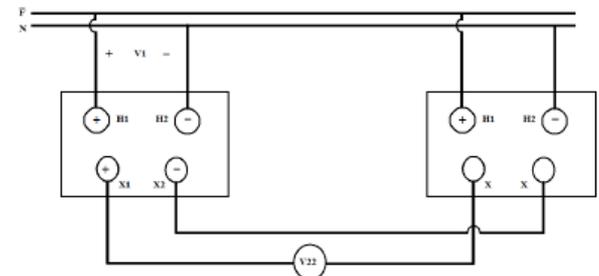
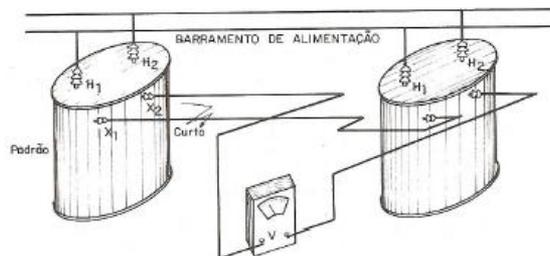
## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Polarização de um transformador:

**Transformador Padrão:** Os dois transformadores são alimentados com tensão reduzida, suportável por ambos. As tensões secundárias podem ser iguais, para mesma relação de espiras ou diferentes.

Se o transformador sob teste tiver a mesma polaridade que o transformador padrão a tensão indicada no voltímetro será a diferença das duas tensões secundárias caso contrário será a soma das tensões secundárias.



## Transformadores

### Transformador trifásico

#### **Polarização de um transformador:**

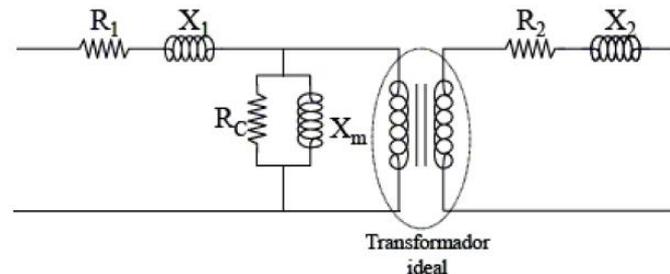
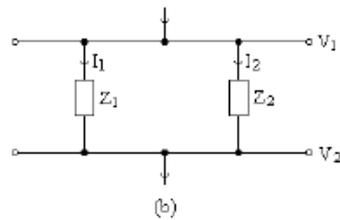
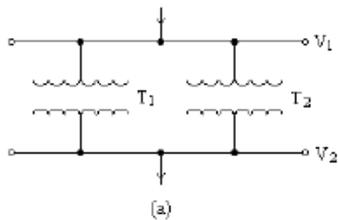
Felizmente, os transformadores **vêm de fábrica com todos os enrolamentos organizados e com polaridade definida**. Os terminais são marcados e basta seguir as orientações do fabricante para efetuar a ligação desejada. Apenas em situações especiais, fábricas, ensaios e em transformadores sem identificação, realiza-se a polarização do transformador.

## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Paralelismo de transformadores:

**Impedância percentual:** É uma característica importante pois sabe-se que a corrente flui majoritariamente pelo caminho de menor impedância. Assim, mesmo os transformadores colocados em paralelo sendo de mesma potência nominal e mesmas tensões, a potência não irá dividir-se igualmente.

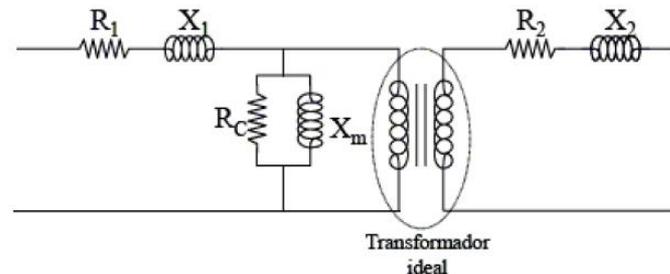
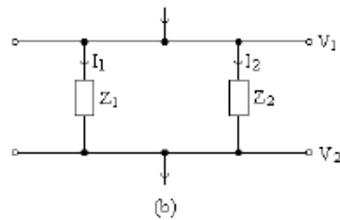
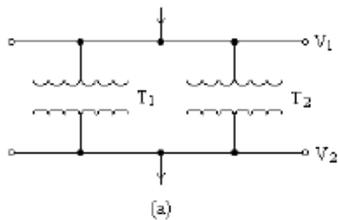


## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Paralelismo de transformadores:

**Impedância percentual:** Para que ocorra uma divisão igualitária de carga, é necessário que os transformadores colocados em paralelo sejam de mesma impedância percentual. Caso haja diferença na impedância percentual dos transformadores, é necessário atentar para não exceder a potencia nominal dos transformadores, já que a divisão de carga não será mais igualitária.

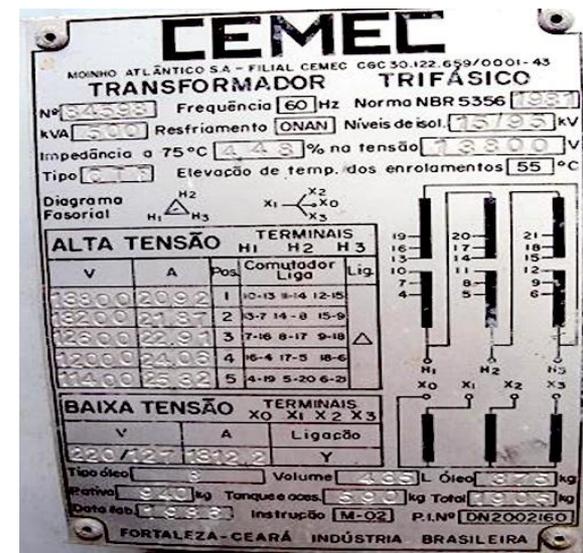
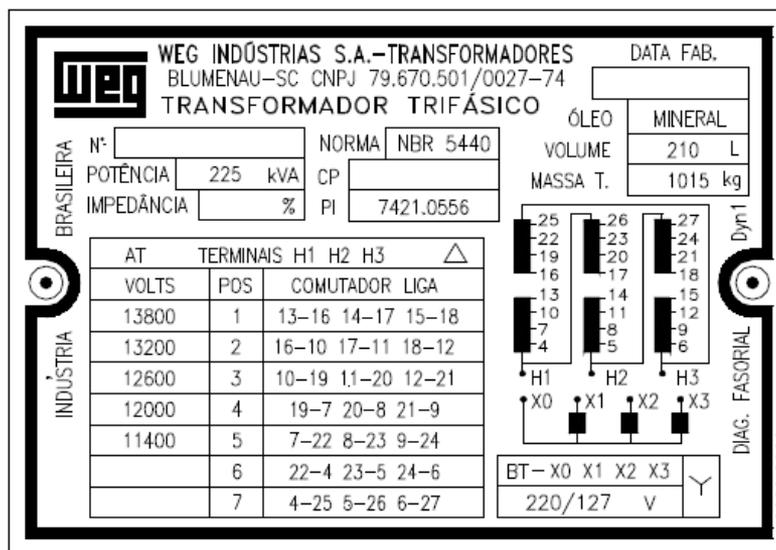


## Transformadores

### Transformador trifásico

**Paralelismo de transformadores:**

**Impedância percentual:** A impedância percentual é um dado que é informado pelo fabricante através da placa de características do transformador.

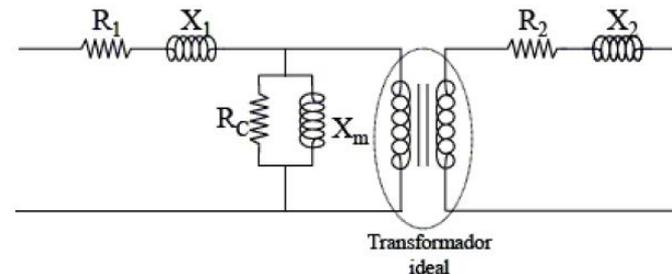
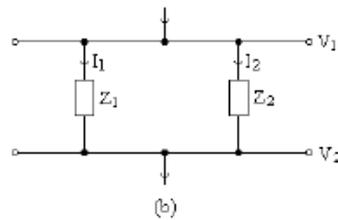
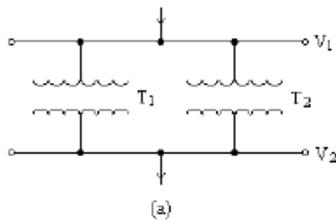


## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Paralelismo de transformadores:

**Impedância percentual:** Caso não se tenha essa informação do transformador é possível realizar ensaios (curto-circuito e a vazio) de modo a obter os parâmetros do transformador (circuito equivalente) e, aliado a técnica chamada “sistemas P.U.” (por unidade), obter a impedância percentual.

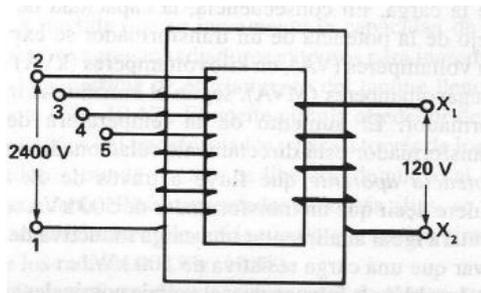


## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Sistema de TAPs

Em alguns transformadores existe a possibilidade de realizar a seleção da quantidade de espira do primário, de modo a manter uma tensão adequada no secundário.



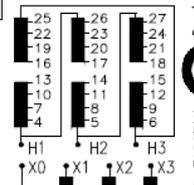
**WEG** WEG INDÚSTRIAS S.A. - TRANSFORMADORES  
BLUMENAU-SC CNPJ 79.670.501/0027-74 DATA FAB. \_\_\_\_\_

**TRANSFORMADOR TRIFÁSICO**

BRASILEIRA	Nº: _____	NORMA	NBR 5440	ÓLEO	MINERAL
	POTÊNCIA	225 kVA	CP	VOLUME	210 L
	IMPEDÂNCIA	%	PI	7421.0556	MASSA T.

AT	TERMINAIS	H1	H2	H3	△
13800	1	13-16	14-17	15-18	
13200	2	16-10	17-11	18-12	
12600	3	10-19	11-20	12-21	
12000	4	19-7	20-8	21-9	
11400	5	7-22	8-23	9-24	
	6	22-4	23-5	24-6	
	7	4-25	5-26	6-27	

INDÚSTRIA



H1 H2 H3  
X0 X1 X2 X3

DIAG. FASORIAL Dyn1

BT - X0	X1	X2	X3	
220/127				V

01/29/2000

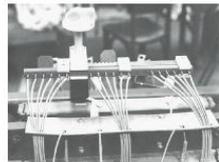
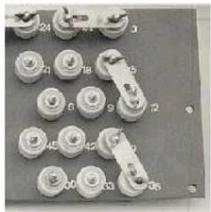


## Transformadores

### Transformador trifásico

#### Sistema de TAPs

Existem alguns tipos de comutadores que só podem se operados a vazio. Entretanto, outros, mais complexos, já permitem a operação sob carga, pois são dotados de sofisticados sistemas de proteção.

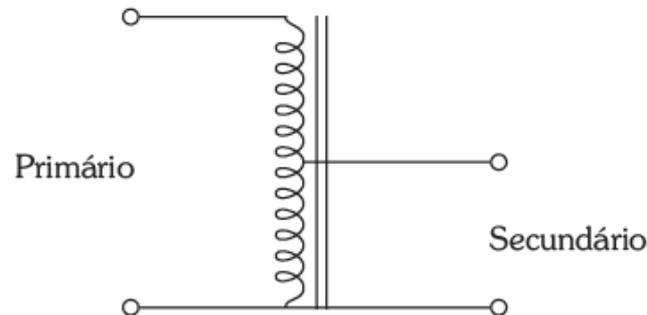


Comutador sob carga

## Transformadores

### Autotransformador

Para reduzir custos ou em situações específicas, pode-se optar pela utilização ou construção de um autotransformador. Ele não difere muito de um transformador monofásico no que diz respeito ao ferromagnético desse equipamento.

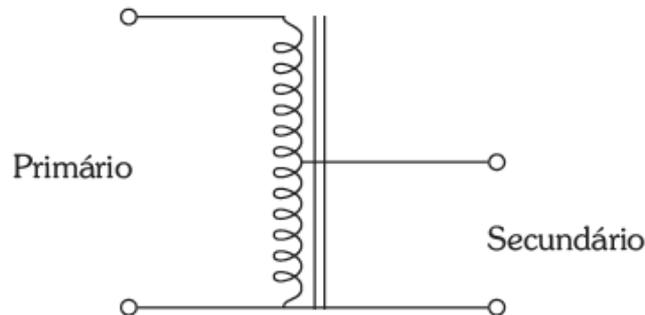


Esquema de um autotransformador

## Transformadores

### Autotransformador

No autotransformador não há mais primário e secundário como dois enrolamentos distintos, na verdade **temos apenas um enrolamento que serve como primário e como secundário ao mesmo tempo.**



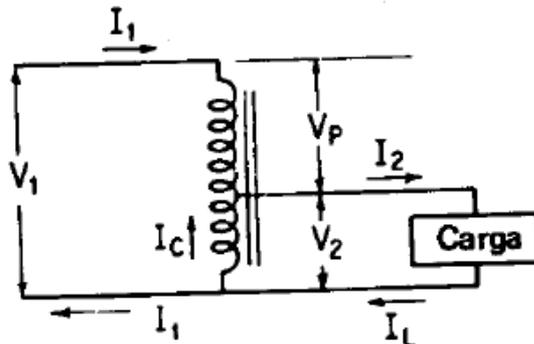
Esquema de um autotransformador

## Transformadores

### Autotransformador

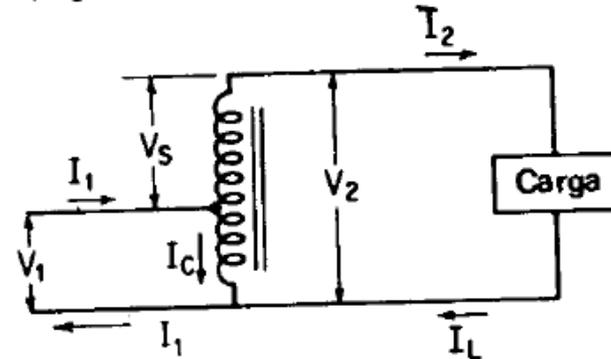
Num autotransformador, parte da energia é transferida **condutivamente**, do primário ao secundário, e o restante da energia é transferida por **ação de transformação**.

$V_p I_1$  transformados  
 $V_2 I_1$  transferidos condutivamente



(a) Correntes e tensões no abaixador.

$V_s I_2$  transformados  
 $V_1 I_2$  transferidos condutivamente

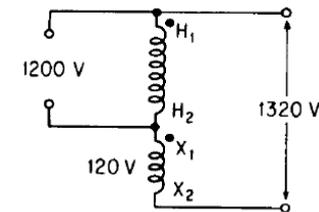
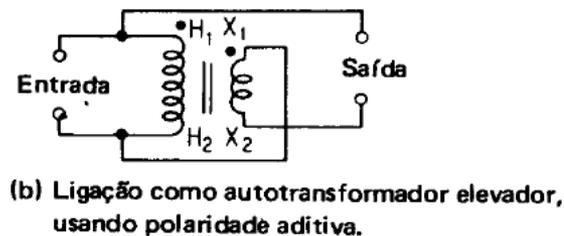
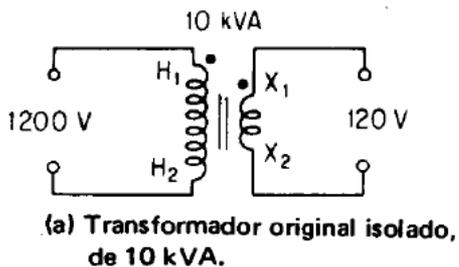


(b) Correntes e tensões no elevador.

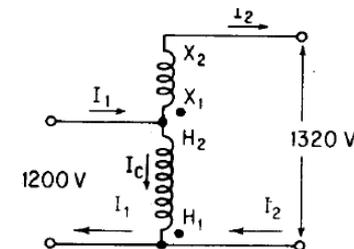
## Transformadores

### Autotransformador

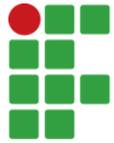
Qualquer transformador comum, de dois enrolamento isolados, pode ser convertido num autotransformador.



(c) Tensões produzidas por polaridade aditiva.



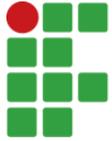
(d) Figura redesenhada com ponto comum inferior, mostrando as relações de corrente.



## Transformadores

### Autotransformador

**Obs.:** É importante ressaltar que ao transformar um transformador isolado em um autotransformador, **abre-se mão da isolação entre primário e secundário.**



## Transformadores

### Autotransformador

#### Vantagens:

**Aumento da capacidade:** A ligação de um transformador isolado como autotransformador, **tem como motivo o tamanho menor de um autotransformador da mesma capacidade** em comparação a um transformador isolado.

Deve-se levar em consideração que o aumento dramático na capacidade em kVA ocorre de forma marcante quando a relação das **tensões primárias e secundária se aproxima da unidade.**

## Transformadores

### Autotransformador

#### Vantagens:

**Aumento da capacidade:** Quando há uma grande relação entre as tensões primária e secundária, a capacidade em kVA tem um acréscimo, mas não tão marcante.

## Transformadores

### Autotransformador

#### Vantagens:

**Aumento da capacidade:** O rendimento do autotransformador varia com a relação de transformação. Este será mais alto quando a relação de transformação se aproxima da unidade. Nela, toda a energia é transferida condutivamente e a corrente no transformador é extremamente pequena.

## Transformadores

### Autotransformador

#### Aplicações:

A aplicação de autotransformadores é indicada **quando não há necessidade de isolamento elétrico** entre primário e secundário e a redução de tensão não ultrapassa 50% da tensão primária, como, por exemplo, o autotransformador trifásico para sistemas de compensação de partida de motores (chave compensadora), que possui taps de 50%, 65% e 85% da tensão de entrada.



## Transformadores

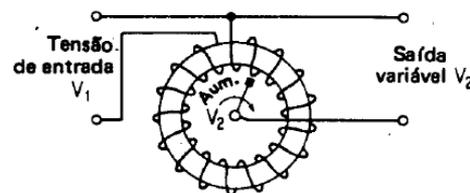
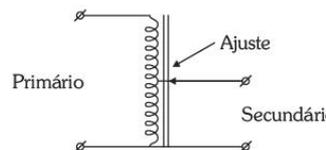
### Autotransformador

#### Autotransformador ajustável

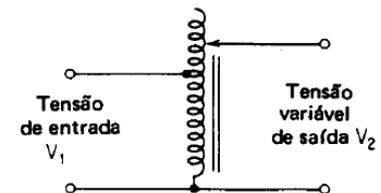
Em equipamentos industriais, em que existe uma fonte de CA ajustável, é comum encontrar como elemento ativo dessa fonte um simples autotransformador ajustável. Como dito anteriormente, uma razão forte para isso é a economia, outra a simplicidade de um autotransformador ajustável.



Autotransformador ajustável



(a) Autotransformador variável.



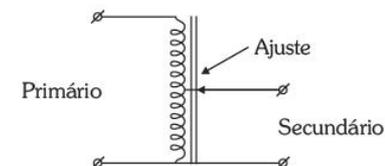
(b) Autotransformador variável com possibilidades de elevador e abaixador.

## Transformadores

### Autotransformador

#### Autotransformador ajustável

Normalmente, por questão física do equipamento, o enrolamento é bobinado sobre um núcleo em forma de toroide. Aproveita-se o mesmo enrolamento primário como secundário, mas desta vez a saída funciona selecionando o número de espiras necessárias para produzir determinada tensão na saída do transformador. Em laboratórios encontramos autotransformadores ajustáveis que operam em equipamentos como o VARIAC.



Autotransformador ajustável

## Transformadores

### Transformadores para instrumentos

São dispositivos utilizados de modo a tornar compatível as faixas (escalas) de atuação dos instrumentos de medição, **controle e fornecer a devida proteção dos mesmos.**

Função importante dos transformadores é a isolação, permitindo a atuação com nível de tensão diferente do circuito com o dispositivo.

## Transformadores

### Transformadores de corrente

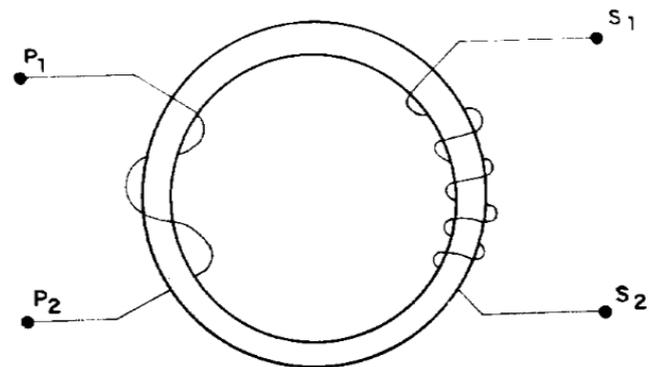
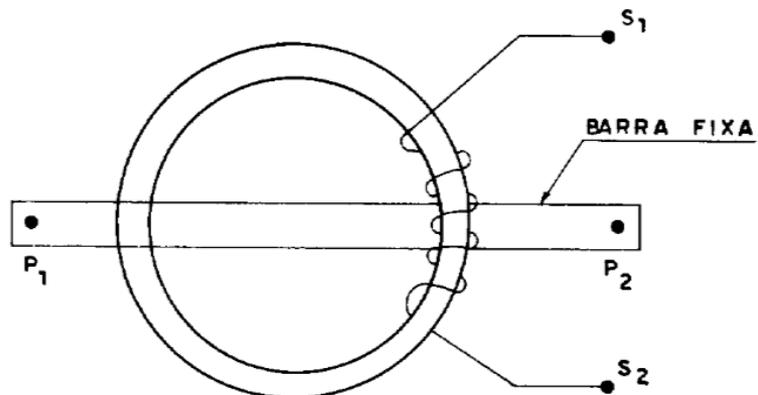
Os transformadores de corrente são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionar adequadamente sem que seja necessário possuírem correntes nominais de acordo com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados.



## Transformadores

### Transformadores de corrente

Na sua forma mais simples, eles possuem um primário, geralmente de poucas espiras, e um secundário, no qual a corrente nominal transformada é, na maioria dos casos, igual a 5 A.



## Transformadores

### Transformadores de corrente

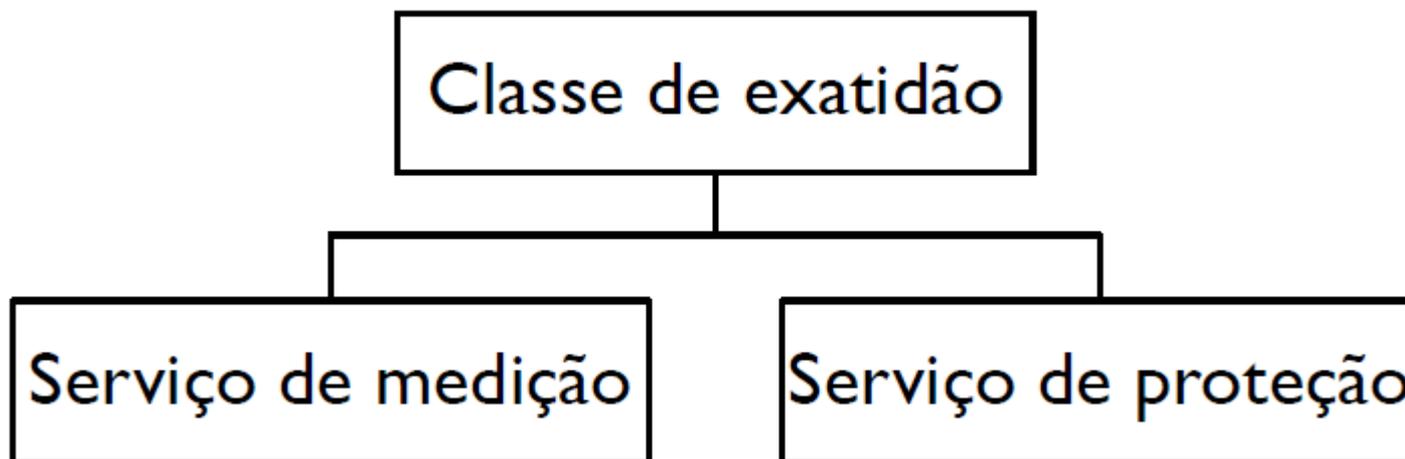
Relações de transformação típicas para TC's segundo a norma NBR

Corrente primária nominal (A)	Relação nominal	Corrente primária nominal (A)	Relação nominal	Corrente primária nominal (A)	Relação nominal
5	1:1	100	20:1	1.000	200:1
10	2:1	125	25:1	1.200	240:1
15	3:1	150	30:1	1.500	300:1
20	4:1	200	40:1	2.000	400:1
25	5:1	250	50:1	2.500	500:1
30	6:1	300	60:1	3.000	600:1
40	8:1	400	80:1	4.000	800:1
50	10:1	500	100:1	5.000	1.000:1
60	12:1	600	120:1	6.000	1.200:1
75	15:1	800	160:1	8.000	1.600:1

## Transformadores

### Transformadores de corrente

#### Classe de exatidão



## Transformadores

### Transformadores de corrente

**TCs de medição:** De acordo com a ABNT, as classes de exatidão são padronizadas em 0,3, 0,6 e 1,2. Esses números definem o maior erro de transformação que o transformador poderá introduzir.

### TC medição

Classe	Aplicação
0,3	Medidas de precisão (Laboratório e faturamento)
0,6	Medidas de energia (Faturamento)
1,2	Instrumentos de painel em geral
3	Amperímetros

## Transformadores

### Transformadores de corrente

**TCs de proteção:** Os transformadores de corrente destinados à proteção de sistemas elétricos capazes de transformar elevadas correntes de sobrecarga ou de curto circuito em pequenas correntes, propiciando a operação dos relés sem que estes estejam em ligação direta com o circuito primário da instalação, oferecendo segurança aos operadores.

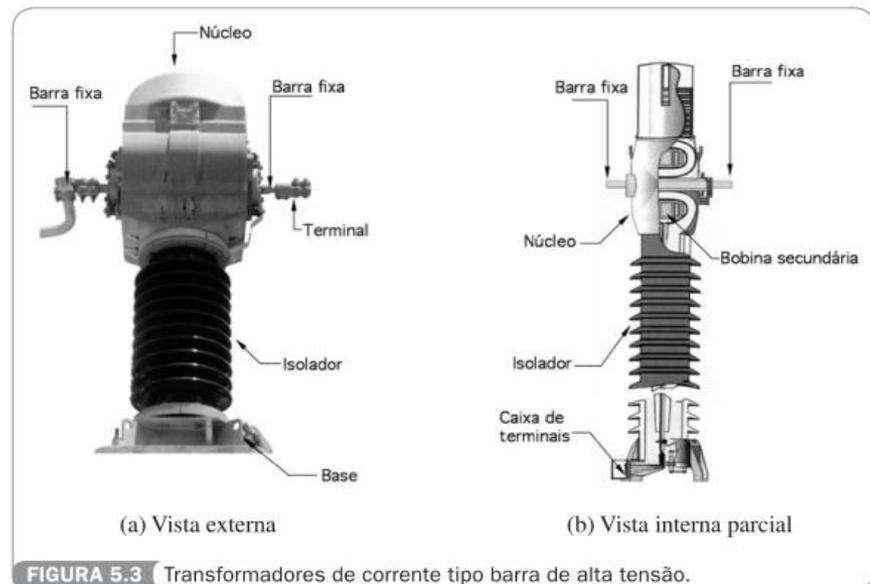
**Não devem saturar facilmente** para correntes de elevado valor.

**Classe de exatidão:** segundo a NBR 6856, podem ser de 5 ou 10%.

## Transformadores

### Transformadores de corrente

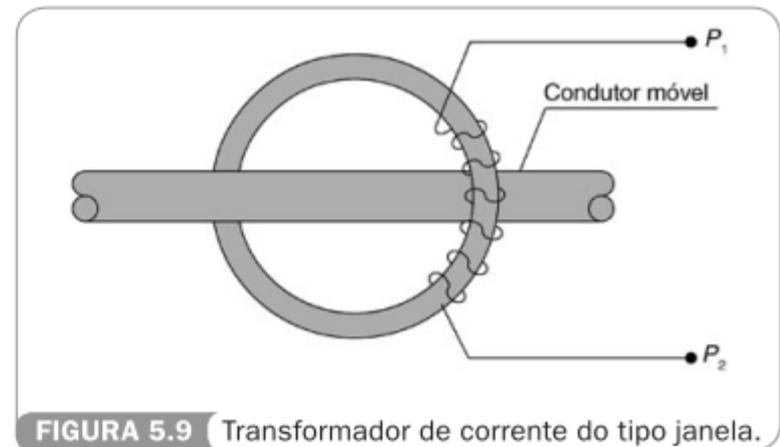
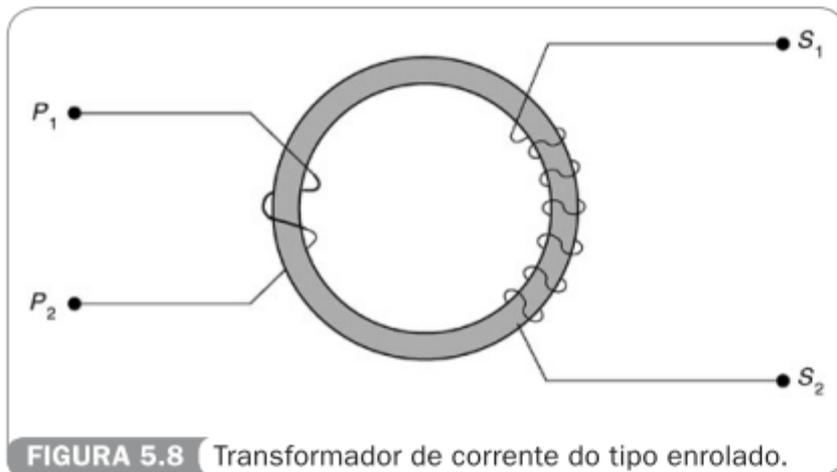
Tipos construtivos:



## Transformadores

### Transformadores de corrente

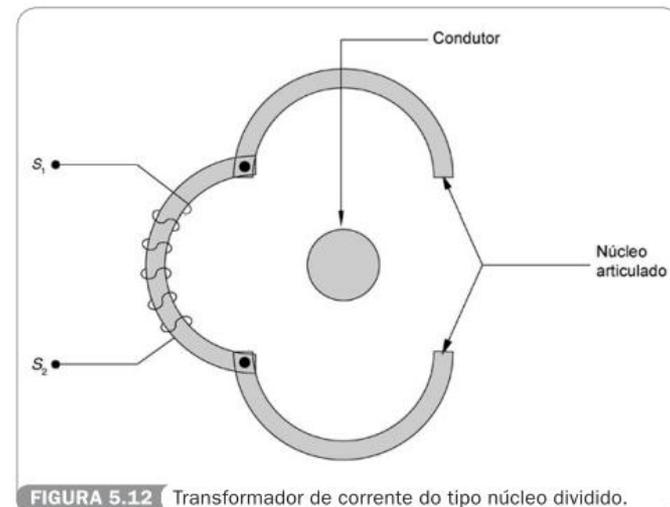
Tipos construtivos:



## Transformadores

### Transformadores de corrente

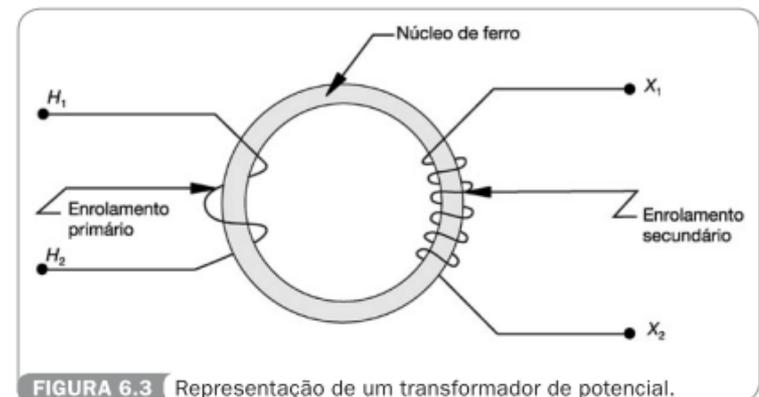
Tipos construtivos:



## Transformadores

### Transformadores de potencial

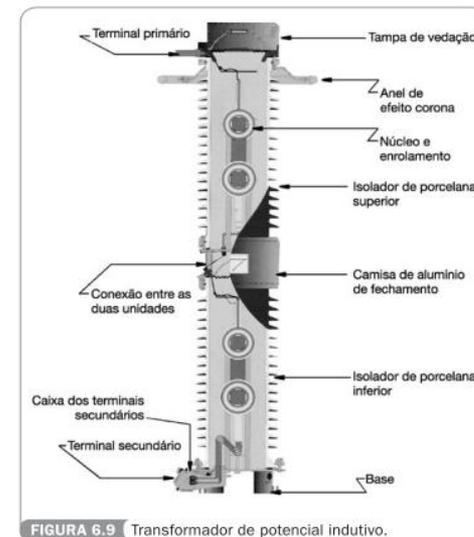
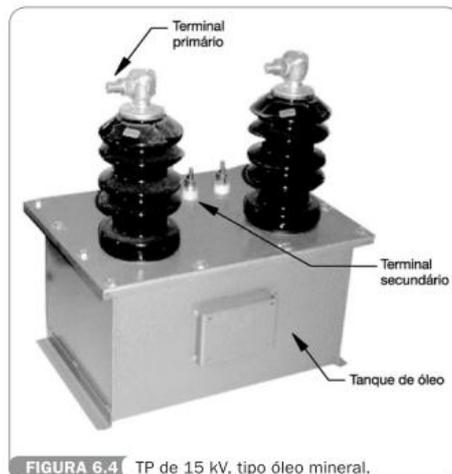
Os transformadores de potencial são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuir tensão de isolamento de acordo com a da rede à qual estão ligados.



## Transformadores

### Transformadores de potencial

Na sua forma mais simples, os transformadores de potencial possuem um enrolamento primário de muitas espiras e um enrolamento secundário através do qual se obtém a tensão desejada, normalmente padronizada em 115 V.



## Transformadores

### Transformadores de potencial

Dessa forma, os instrumentos de proteção e medição são dimensionados em tamanhos reduzidos com bobinas e demais componentes de baixa isolamento.

Grupo 1 Para ligação de fase para fase		Grupos 2 e 3 Para ligação de fase para neutro		
Tensão primária nominal (V)	Relação nominal	Tensão primária nominal (V)	Relações nominais	
			Tensão secundária 115V/√3	Tensão secundária 115V
115,0	1:1	-	-	-
230,0	2:1	230/√3	2:1	1,2:1
402,5	3,5:1	402,5/√3	3,5	2:1
460,0	4:1	460/√3	4	2,4:1
575,0	5:1	575/√3	5	3:1
2300,0	20:1	2.300/√3	20	12:1
3450,0	30:1	3.450/√3	30	17,5:1
4025,0	35:1	4.025/√3	35	20:1
4600,0	40:1	4.800/√3	40	24:1
6900,0	60:1	6.900/√3	60	35:1
8060,0	70:1	8.050/√3	70	40:1
11500,0	100:1	11.500/√3	100	60:1
13800,0	120:1	13.800/√3	120	70:1
23000,0	200:1	23.000/√3	200	120:1
34500,0	300:1	34.500/√3	300	175:1
45000,0	400:1	46.000/√3	400	240:1
69000,0	600:1	69.000/√3	600	350:1
		88.000/√3	800	480:1
		115.000/√3	1000	600:1
		138.000/√3	1200	700:1
		161.000/√3	1400	800:1
		196.000/√3	1700	1.000:1
		230.000/√3	2000	1.200:1

**NOTAS:**

1.ª) As relações nominais de TP's, com tensões primárias nominais superiores a 230kV, estão sujeitas a acordo entre fabricante e comprador.

2.ª - a) Grupo 1: TP's projetadas para ligação entre fases

- b) Grupo2: TP's projetadas para ligação entre fase e neutro de sistemas diretamente ou eficazmente aterrados.

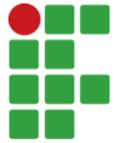
- c) Grupo 3: TP's projetadas para ligação entre fase e neutro de sistemas onde não se garante a eficácia do aterramento

## Transformadores

### Transformadores de potencial

Classe de exatidão:

Classe de Exatidão	Aplicação
Menor que 0,3	- TP padrão - Medição especiais em laboratórios
0,3	- Medição de energia elétrica para faturamento
0,6 ou 1,2	- Alimentação de instrumentos: Relés, voltímetros, wattímetros, varímetros, fasímetros, frequencímetros, etc.



# TÉCNICO EM ELETROELETRÔNICA

---

## Referências bibliográficas básicas:

FILHO, MAMEDE, João. **Manual de Equipamentos Elétricos**, 4ª edição. LTC, 03/2013.

FILHO, MAMEDE, João. **Instalações Elétricas Industriais**, 8ª edição. LTC, 03/2010.

CARVALHO, G. **Máquinas elétricas** 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.