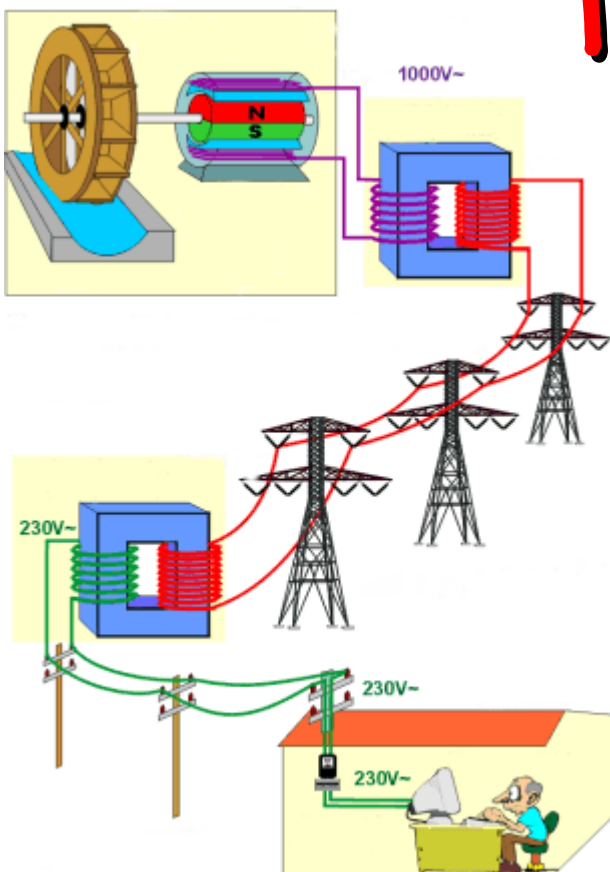
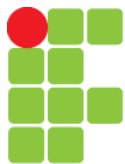


TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

(Módulo 3 - TEM)

Prof. Dr. Emerson Silveira Serafim





SUMÁRIO

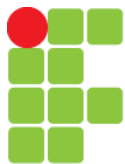
1.1 Introdução

1.2 Definição

1.2.1 Princípio de funcionamento

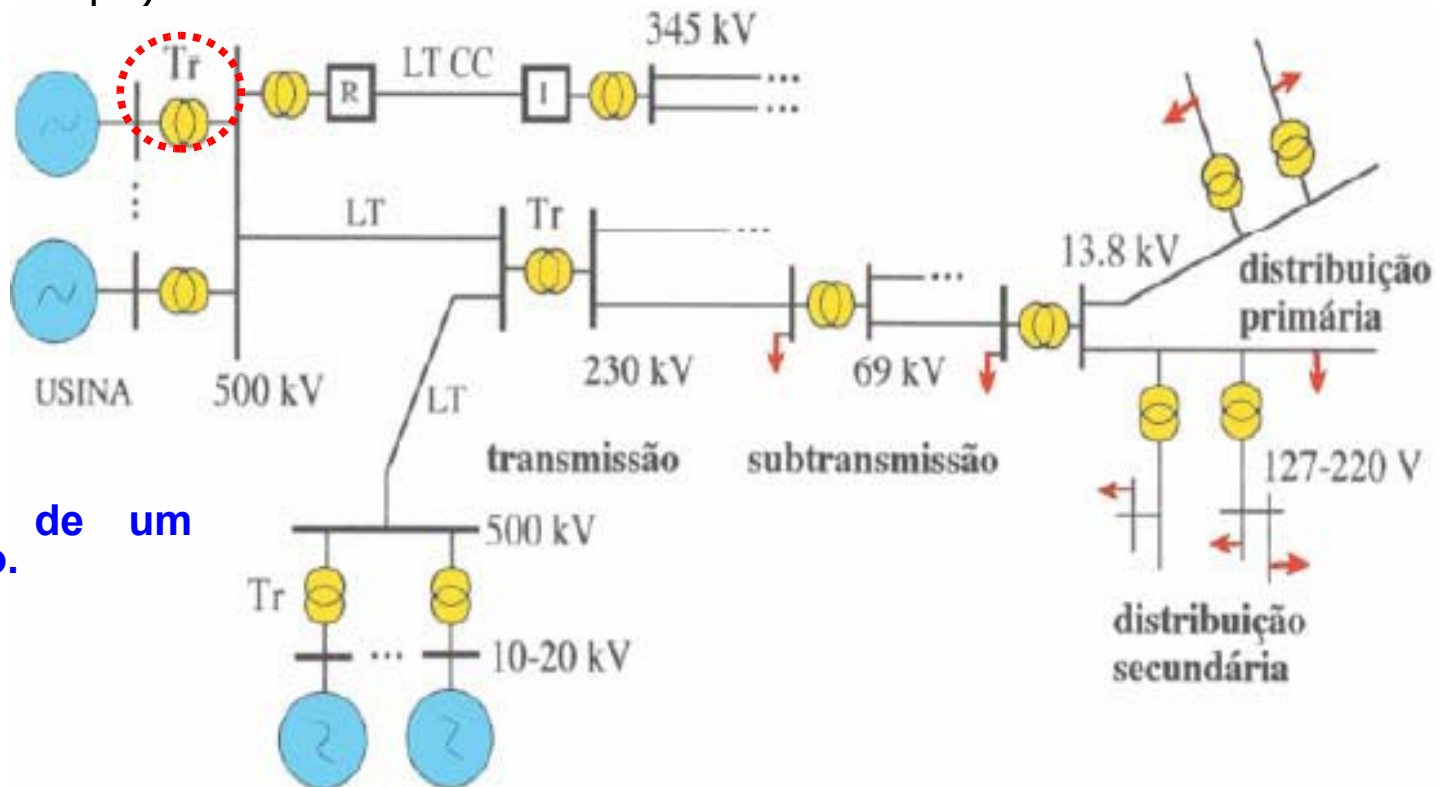
1.2.2 Transformador Ideal

1.2.3 Transformador Real

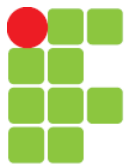


1.1 INTRODUÇÃO

A **energia elétrica**, produzida em grande quantidade nas usinas, precisa ser **transmitida** até os **centros consumidores** e, por sua vez, distribuída a cada consumidor. Portanto, em um sistema de **geração, transmissão e distribuição** costumam coexistir grandes e pequenos fluxos de energia. (Profa. Ana Barbara k. Sambaqui)



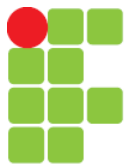
Representação de um sistema elétrico.



No transporte de energia elétrica, **quanto MAIOR a tensão, MAIOR a potência transmitida**. Isso então permite controlar a quantidade de potência transmitida simplesmente variando o **nível de tensão** ao longo do sistema, o que é facilmente realizado, em circuitos de **corrente alternada**, através de **TRANSFORMADORES**. (Profa. Ana Barbara k. Sambaqui)

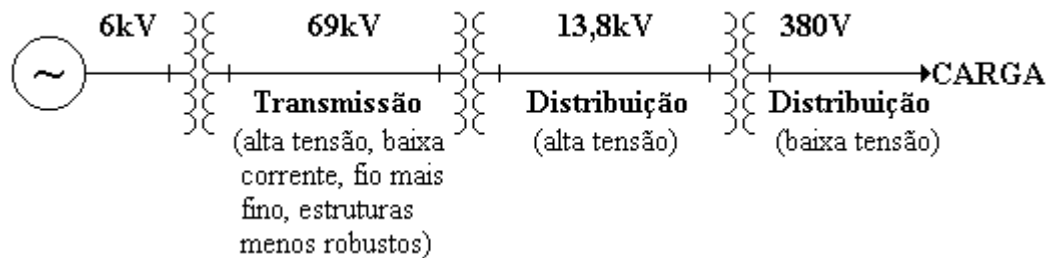
Tensão de linha mais utilizadas no Brasil:

- **Transmissão:** 230kV, 440kV, 500kV, 600 kV(CC), 750kV;
 - **Subtransmissão:** 69kV, 138kV;
- **Distribuição primária:** 11,9kV, 13,8kV, 23kV, 34,5kV;
- **Distribuição secundária:** 115V, 127V, 220V;
- **Sistemas industriais:** 220V, 380V, 440V, 2,3kV, 4,16kV e 6,6kV.

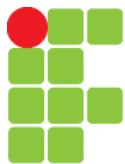


APLICAÇÕES:

- **ALTERAÇÃO** de níveis de **TENSÃO** e **CORRENTE** entre dois circuitos. Ex.: Sistema de energia elétrica.



- **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**).

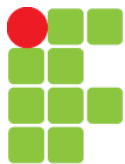


1.2 DEFINIÇÃO

A **ABNT** (Associação Brasileira de Normas Técnicas) define o **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, com **tensões** e intensidades de **correntes DIFERENTES**.

Então, 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**.



1.2.1 Princípio de funcionamento

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

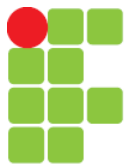
LEI DE FARADAY

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

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

LEI DE LENZ

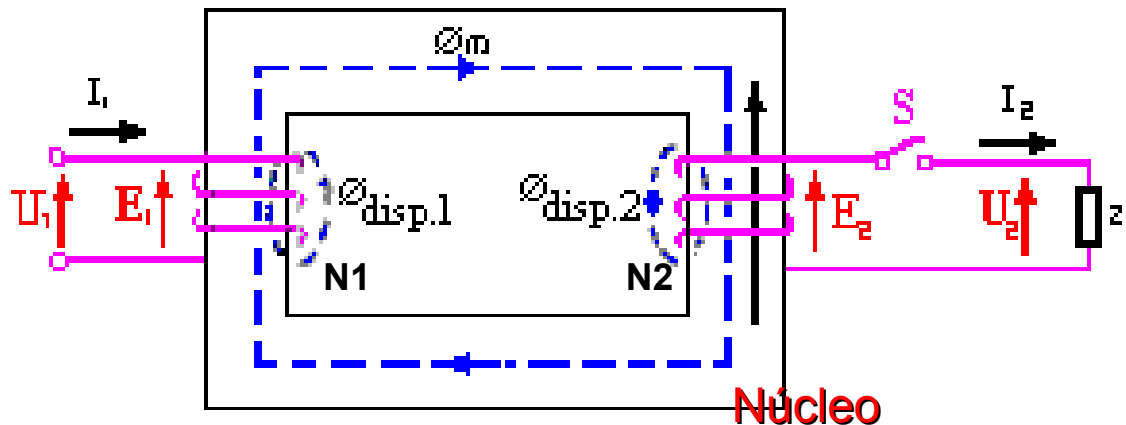
O **sentido** da **corrente induzida** é tal que origina um fluxo magnético **induzido**, que se **opõe** à variação do fluxo magnético **indutor**.



Se aplicarmos uma tensão **U1 ALTERNADA** ao **PRIMÁRIO**, circulará por este enrolamento uma **CORRENTE I1 alternada**, que por sua vez dará condições ao surgimento de um **FLUXO MAGNÉTICO** também **alternado** (ϕ_m).

A maior parte deste FLUXO ficará confinado ao **núcleo**, uma vez que é este o caminho de **MENOR RELUTÂNCIA**.

Este FLUXO dará origem a uma FORÇA-ELETROMOTRIZ induzida (f.e.m) **E1** no primário e **E2** no secundário (**Lei de Faraday**) proporcionais ao NÚMERO DE ESPIRAS dos respectivos enrolamentos, **N1** e **N2**.

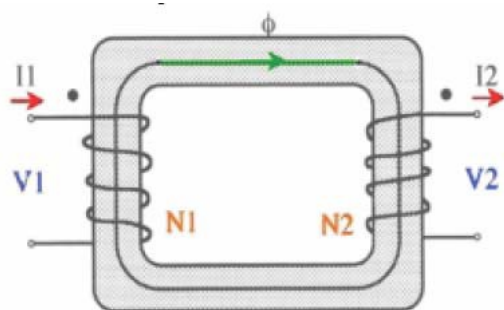


**Ver
simulador:
generator**

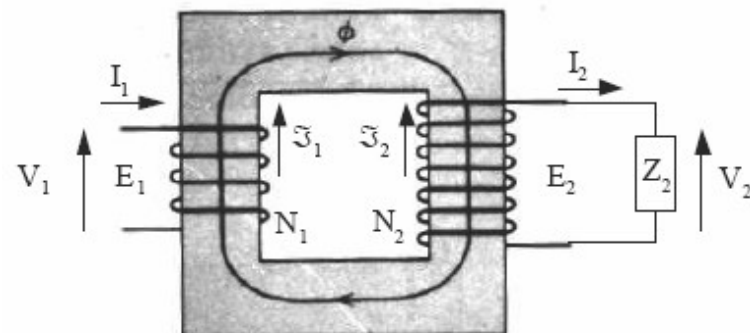
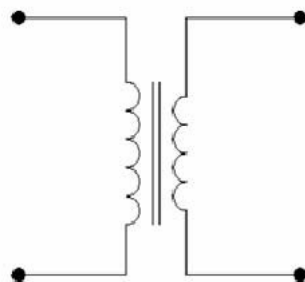
PRIMÁRIO é o lado que **RECEBE ENERGIA**.
SECUNDÁRIO é o lado que **ALIMENTA** a **CARGA**.



1.2.2 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**.

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

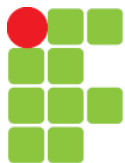
onde:

a: relação de transformação.

V1, V2: tensão eficaz nos enrolamentos primário e secundário, [V].

N1, N2: número espiras nos enrolamentos primário e secundário.

I1, I2: correntes nos enrolamentos primário e secundário, [A].

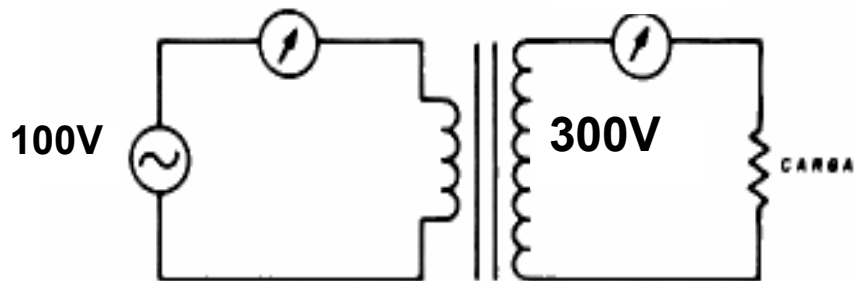
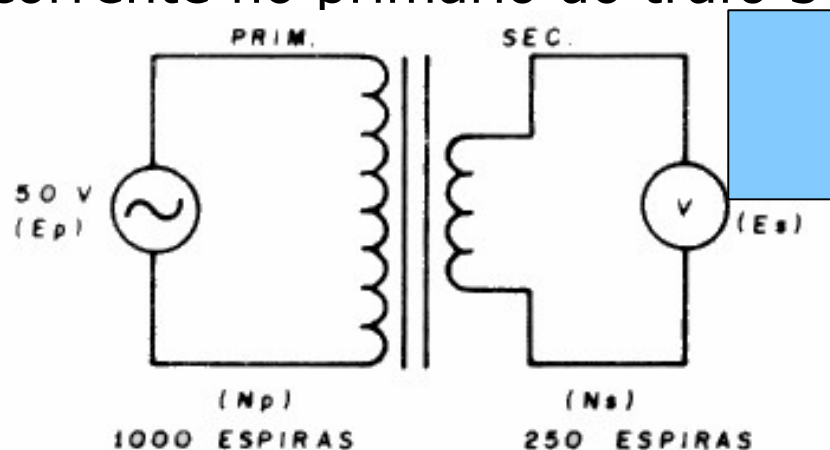
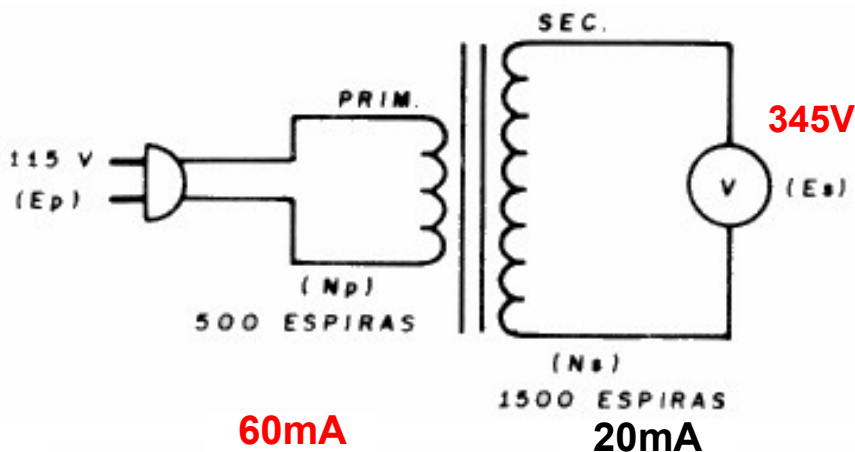


EXERCÍCIOS

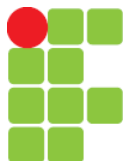
1) Na tabela abaixo calcule a relação de transformação e identifique se o trafo é abaixador, elevador ou isolador de tensão:

V1	V2	N1	N2	a	Tipo
220	110				
		250	1000		
13800	380				

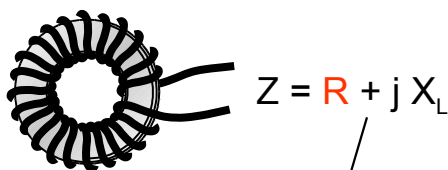
2) Qual a tensão no secundário dos dois transformadores monofásico indicados abaixo? E a corrente no primário do trafo 3?



3) Qual a potência no primário e no secundário do trafo ao lado?

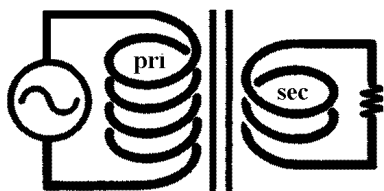
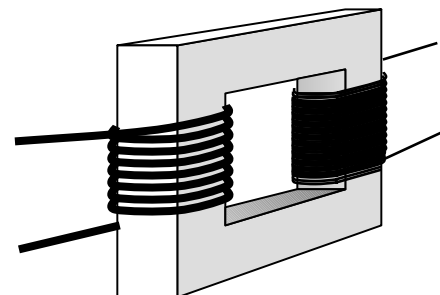


1.2.3 Transformador REAL

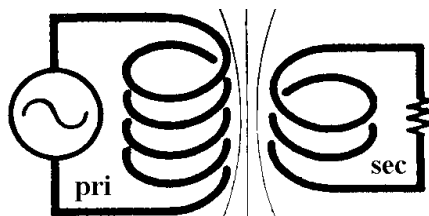


AQUECIMENTO

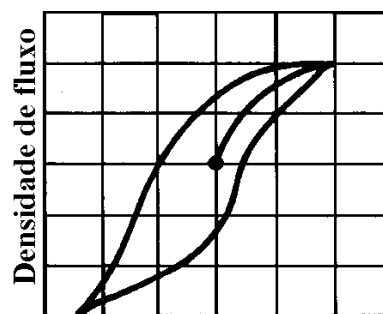
Limitação de I (1 ou 2)



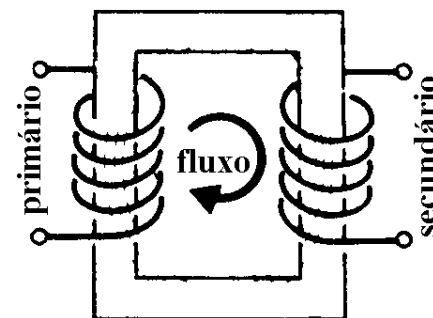
Perda no Cobre



Fluxo perdido
Perda de Fluxo



Densidade de fluxo
Força Magnetizante
Perda por Histerese

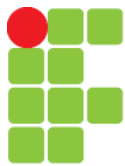


primário
fluxo
secundário
Perda por corrente parasita

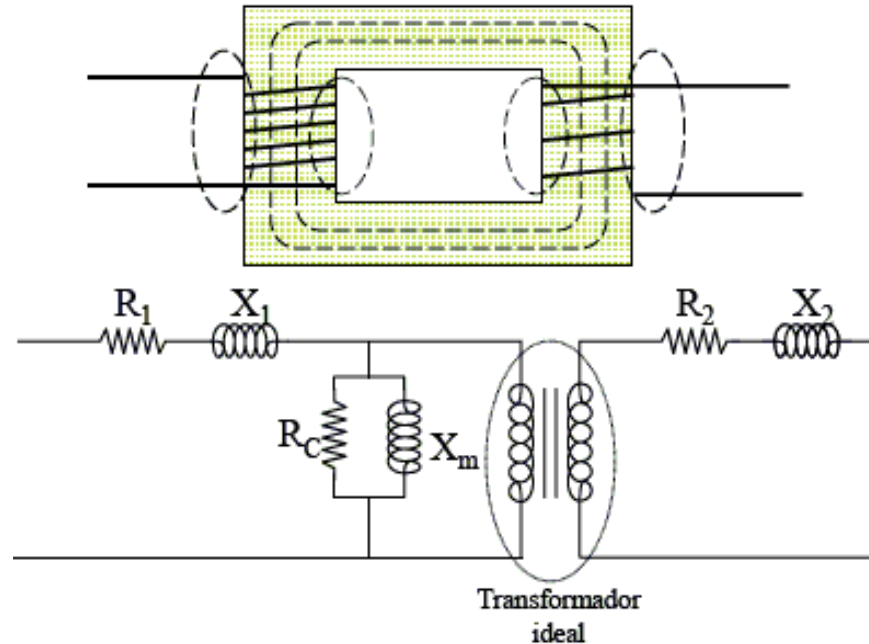
PERDAS NO COBRE: devido à resistência dos fios nos enrolamentos ($P=RI^2$);

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).



O circuito equivalente do transformador real é constituído de elementos de circuito: **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, $[\Omega]$.