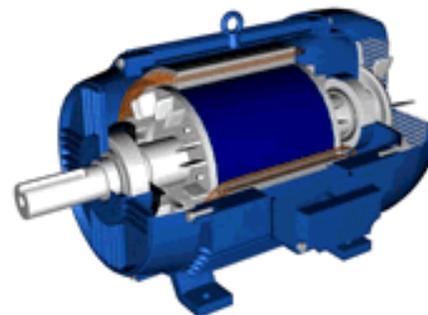
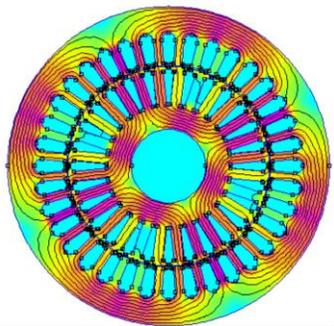


# Aula 5: Introdução aos Transformadores

Prof. Allan Fagner Cupertino  
[afcupertino@ieee.org](mailto:afcupertino@ieee.org)



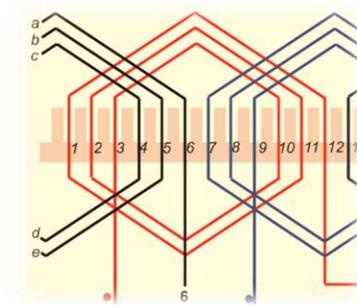
# Sumário

---

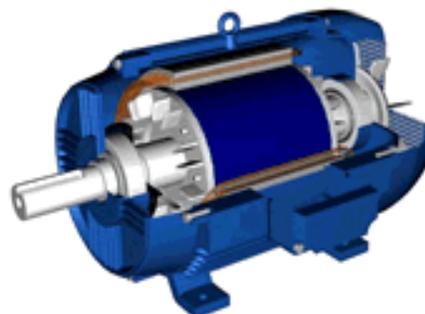
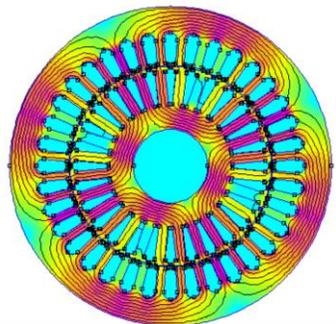
❑ Princípio de funcionamento – transformador ideal;

❑ Qual a importância dos transformadores?

❑ Aspectos construtivos.



# Princípio de funcionamento e Transformador ideal



<http://www.semage.com.br/calternada.ph>



# O que é um transformador?

- ❑ Máquina elétrica estática;
- ❑ Dispositivo desenvolvido para circuitos de corrente alternada!
- ❑ Tem a função básica de elevar ou abaixar a tensão;
- ❑ Princípio de funcionamento baseado na Lei de Faraday;
- ❑ Dispositivo utilizado na transmissão e distribuição de energia.



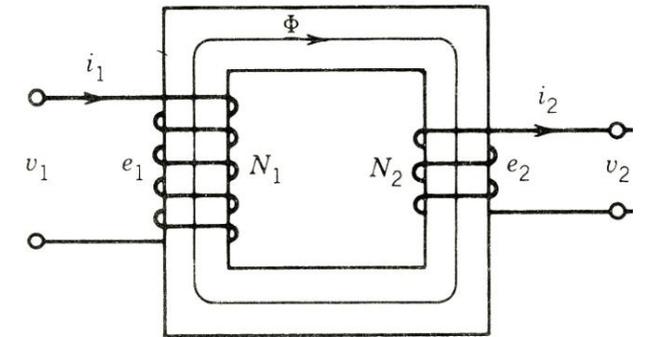
Fonte: WEG.



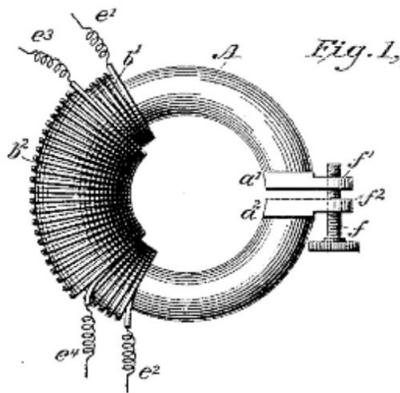
Fonte: Trancil.

# O que é um transformador?

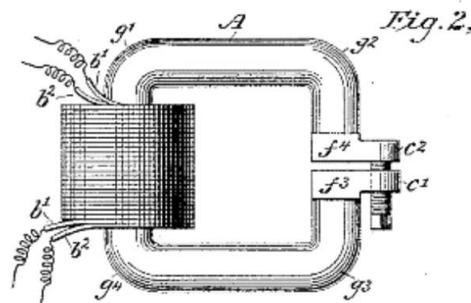
- ❑ Bobinas construídas em torno de um núcleo magnético;
- ❑ Bobina conectada à fonte: Primário;
- ❑ Bobina conectada à carga: Secundário.



P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".



Patented Sept. 21, 1886.



No. 349,611.

W. Stanley Jr. "Induction Coil". U.S. Patent.



Fonte: Cootrans.

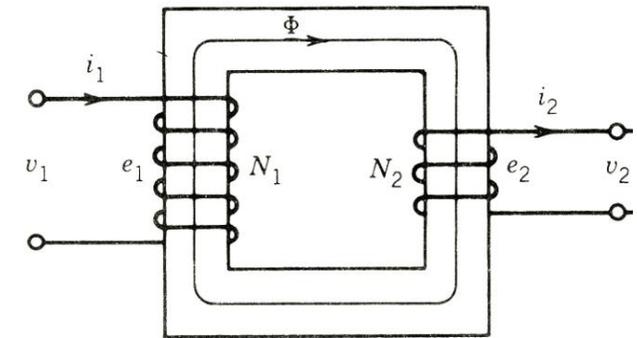
# Princípio básico de funcionamento

- ❑ Transformador ideal;
  - As bobinas não apresentam resistência;
  - A permeabilidade do núcleo magnético é infinita.
- ❑ Conclusão: Não existem perdas nem dispersão do fluxo;
- ❑ Sob estas condições pode-se obter que:

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

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

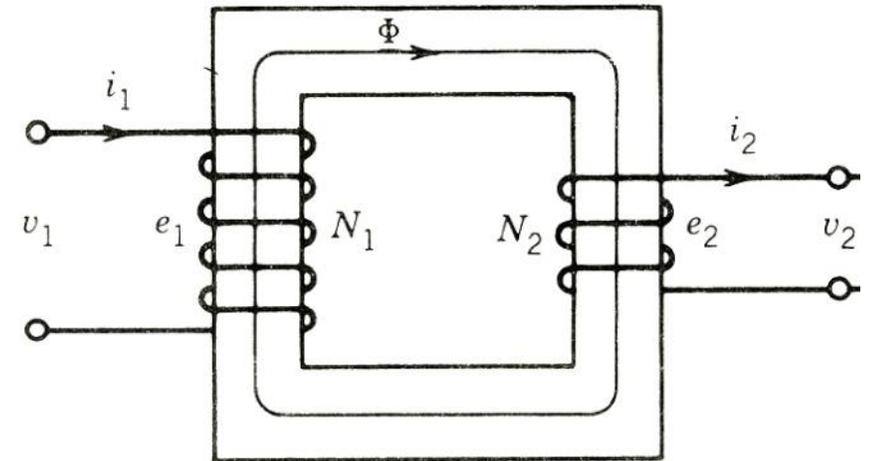


P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

Onde  $a$  é denominado relação de espiras ou relação de transformação do transformador.

# Conclusões

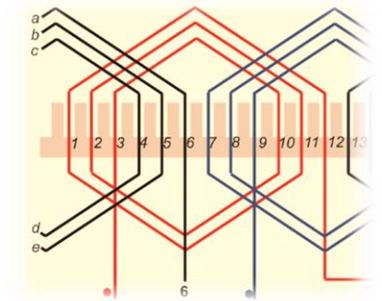
- ❑ Note que existe transferência de potência do primário para o secundário sem existir conexão elétrica;
- ❑ Se  $N_2 > N_1$ ,  $V_2 > V_1 \rightarrow$  Transformador elevador de tensão;
- ❑ Se  $N_2 < N_1$ ,  $V_2 < V_1 \rightarrow$  Transformador abaixador de tensão;
- ❑ Se  $N_2 = N_1$ ,  $V_2 = V_1 \rightarrow$  Transformador isolador;
- ❑ A eficiência de um transformador ideal é 100 %;
- ❑ Não funciona com tensão contínua (Por quê?).



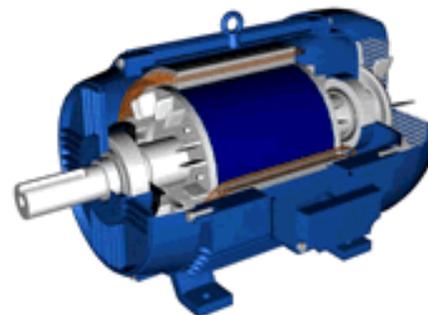
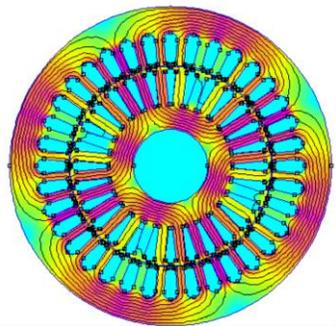
P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

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

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$



## Qual a importância do transformador?

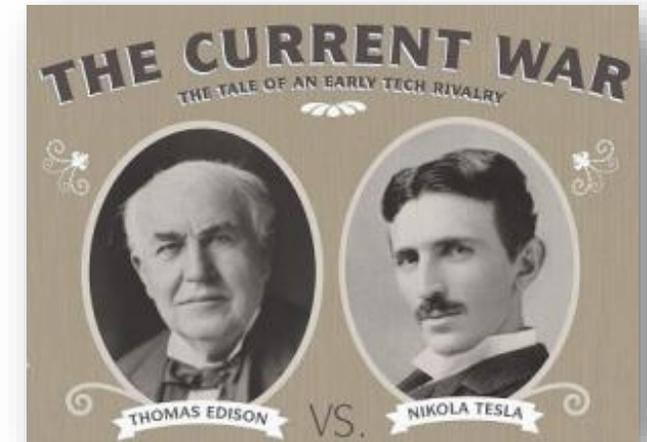


<http://www.semage.com.br/calternada.ph>

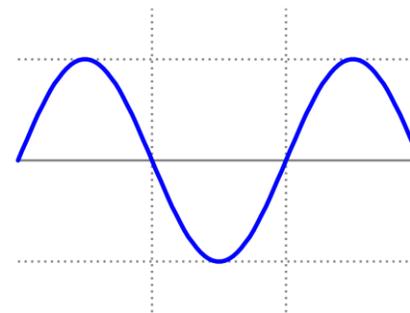


# Importância do transformador

- ❑ CC versus CA: Batalha das correntes;
- ❑ Qual sistema era mais interessante para a transmissão de energia em longas distâncias?
- ❑ Transformador teve um papel fundamental na decisão!



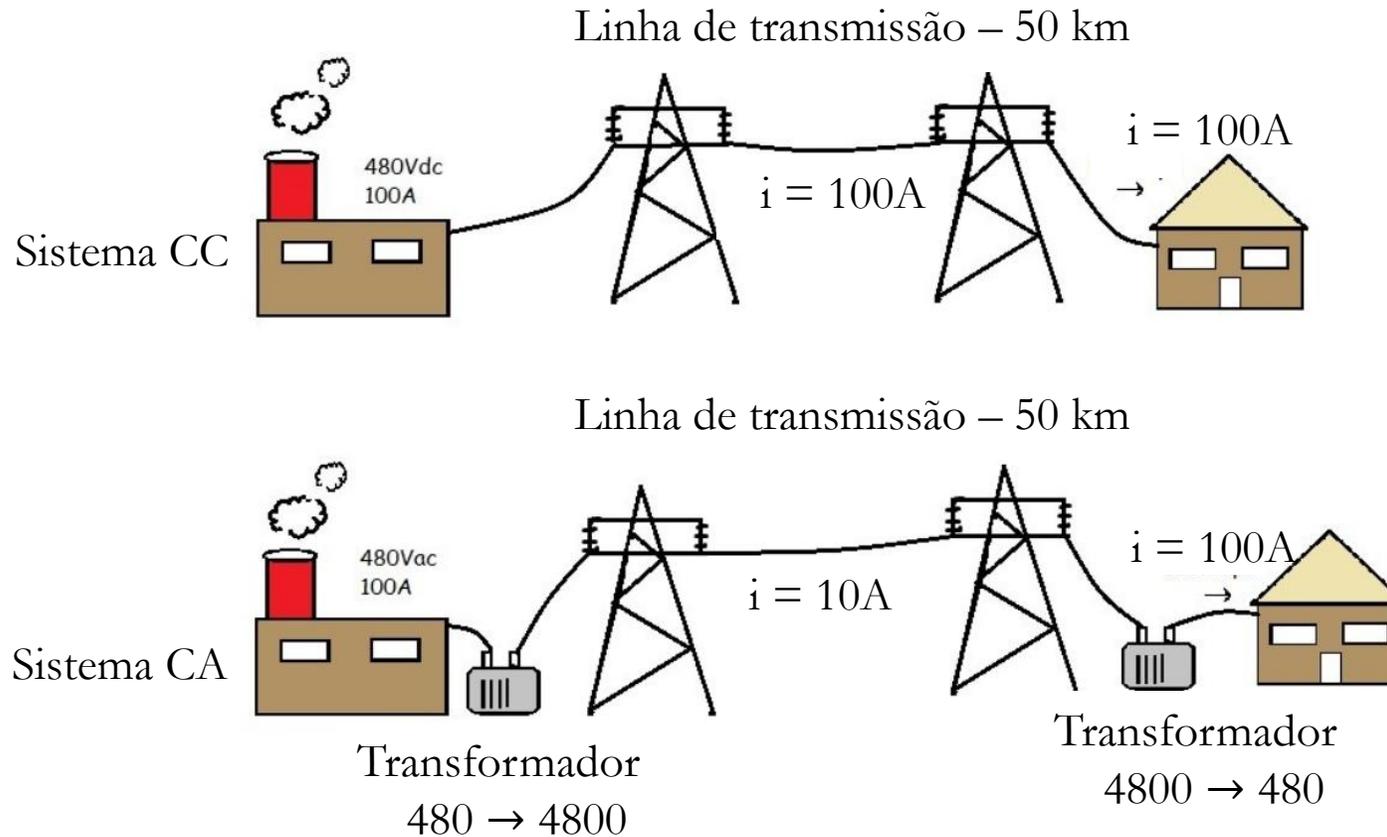
ou



<https://peguru.com/2011/03/ac-dc-power/>

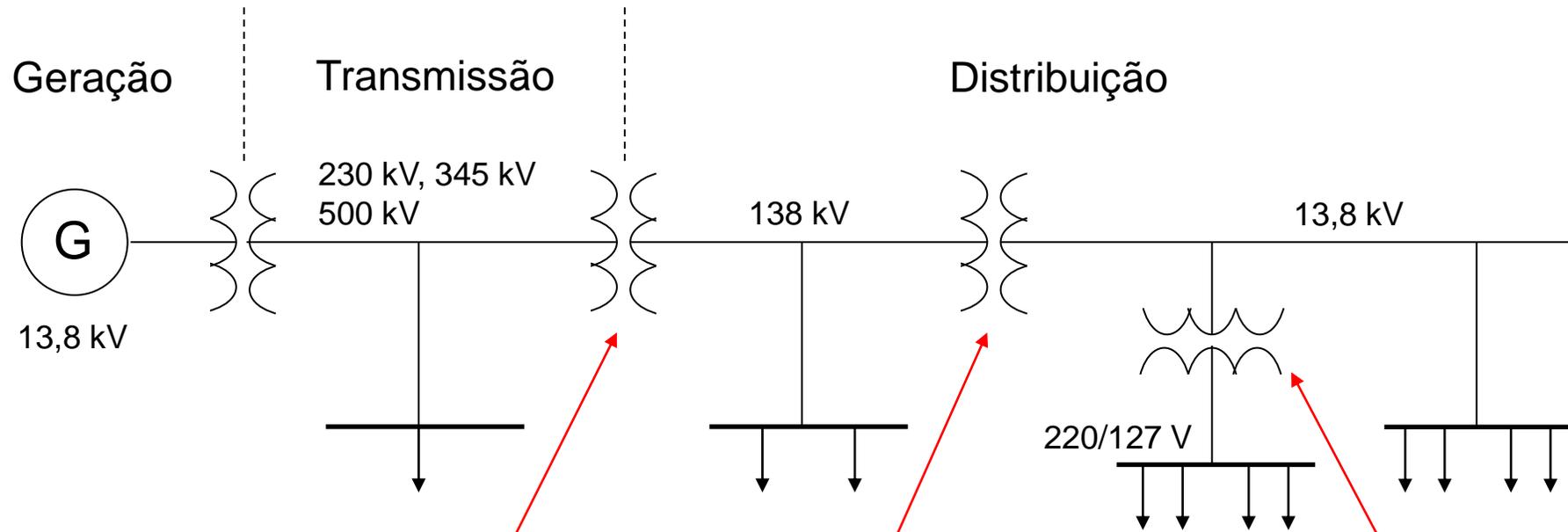
# Importância do transformador

- Compare as perdas na transmissão dos sistemas de transmissão a seguir.



<https://peguru.com/2011/03/ac-dc-power/>

# Geração transmissão e distribuição



# Obrigado pela Atenção



[www.gesep.ufv.br](http://www.gesep.ufv.br)



<https://www.facebook.com/gesep>



[https://www.instagram.com/gesep\\_vicosa/](https://www.instagram.com/gesep_vicosa/)



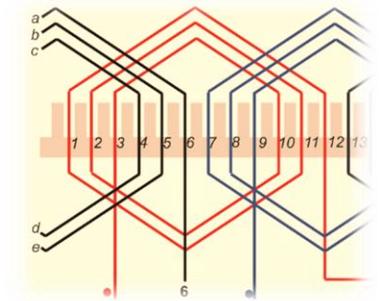
[https://www.youtube.com/channel/UCe9KOSGORXh\\_hDBIcxMU2Nw](https://www.youtube.com/channel/UCe9KOSGORXh_hDBIcxMU2Nw)



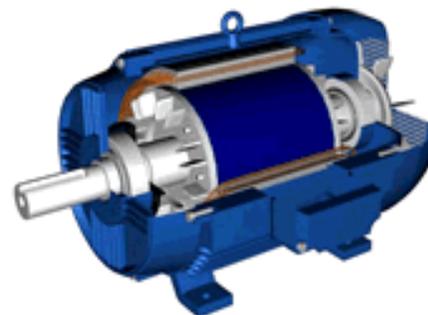
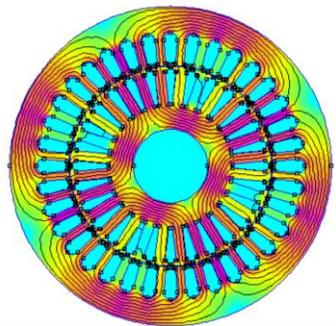
Estimate - Sistemas  
Fotovoltaicos



<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.developer.gesep.estimate>



## Aspectos construtivos

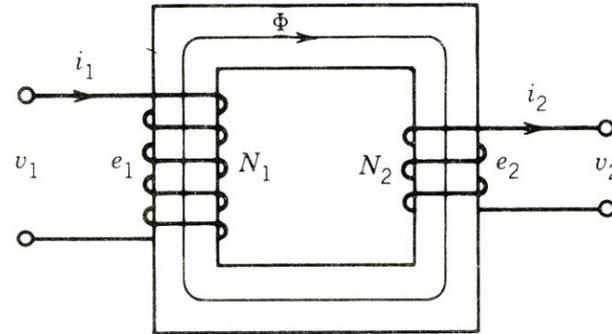


<http://www.semage.com.br/calternada.php>



# Partes constituintes

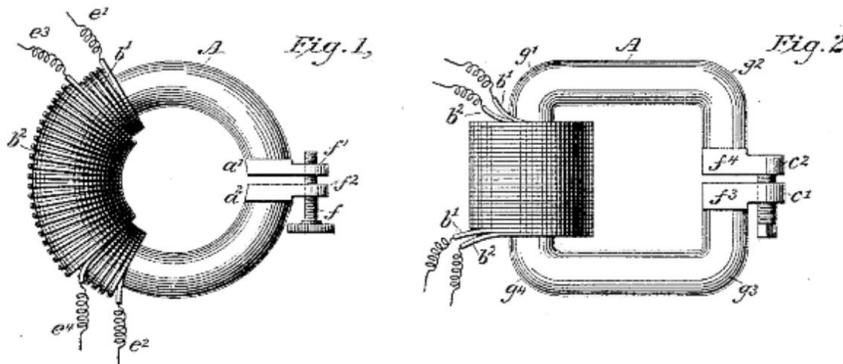
- ❑ Bobinas;
- ❑ Núcleo magnético;
- ❑ Terminais de conexão;
- ❑ Invólucro;
- ❑ Sistema de refrigeração.



P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".



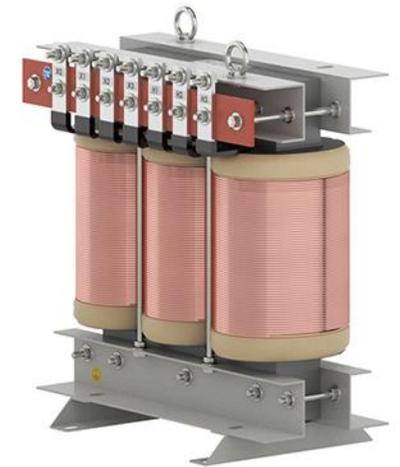
Fonte: WEG.



Patented Sept. 21, 1886.

No. 349,611.

W. Stanley Jr. "Induction Coil". U.S. Patent.



Fonte: Polux. Transformadores

# Partes constituintes: Bobinas

- ❑ Pode utilizar cobre ou alumínio;
- ❑ Utilizam-se fios esmaltados → isolação elétrica; 
- ❑ Isolação → Limita a temperatura máxima de operação do equipamento.

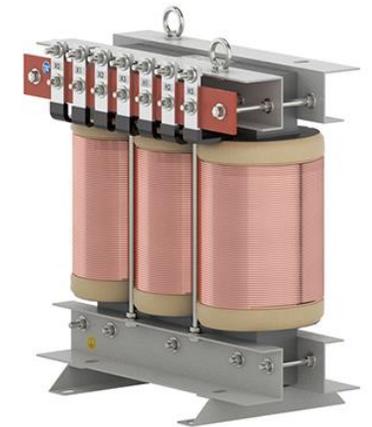
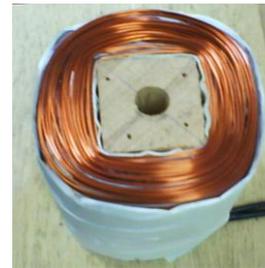


Fonte: Wise Transformadores.

ou



Fonte: Wise Transformadores.



Fonte: Polux. Transformadores

# Cobre versus alumínio

- ❑ Cobre
- Maior custo do material;
- Maior condutividade;
- Reduz volume;
- Maior elasticidade.



Fonte: Wise Transformadores.



Fonte: WEG.

- ❑ Alumínio
- Menor custo;
- Requer maior bitola;
- Maior volume;
- Cuidado → corrosão galvânica;
- Mais propenso a falhas.



Fonte: Wise Transformadores.



Fonte: Interfase.

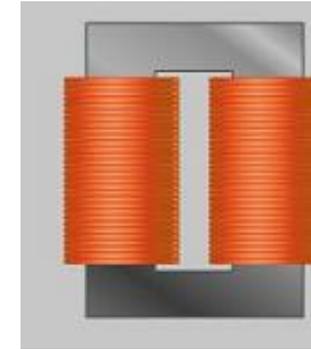


# Enrolamentos Primário e Secundário

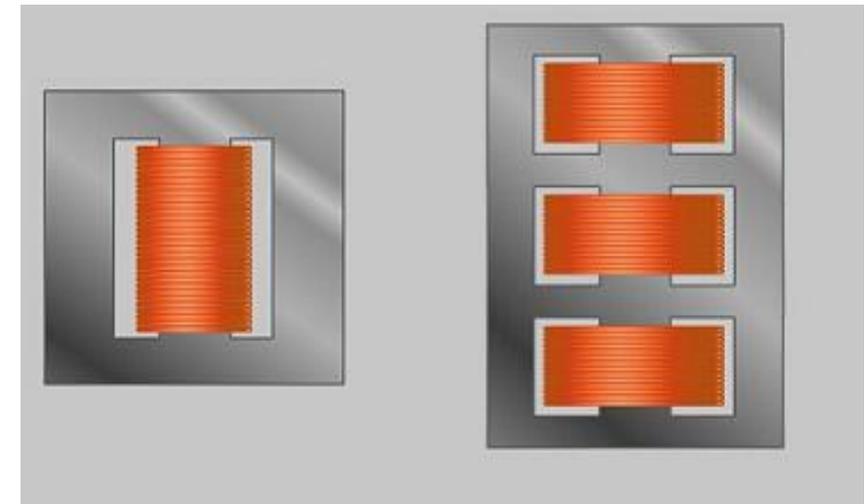
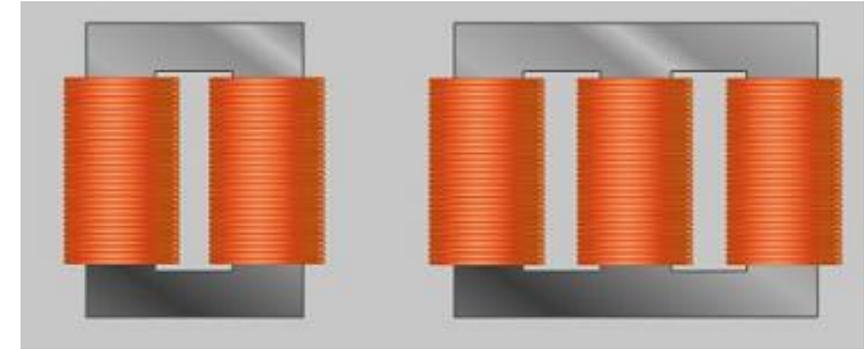
- ❑ Núcleo envolvido
  - Core-Type;
  - Maior dispersão;
  - Mais barato e popular (menos ferro);
  - Menos eficiente;
  - Usados tipicamente até 69 kV.

- ❑ Núcleo envolvente ou encouraçado
  - Shell-Type;
  - Menor dispersão;
  - Maior quantidade de ferro;
  - Mais eficiente;
  - Fabricação mais complexa;
  - Usados tipicamente acima de 69 kV.

Monofásico



Trifásico



Vídeo recomendado: [https://www.youtube.com/watch?v=XrIXioEn3yQ&ab\\_channel=LearnEngineering](https://www.youtube.com/watch?v=XrIXioEn3yQ&ab_channel=LearnEngineering)

[https://www.tutorialspoint.com/basic\\_electronics/basic\\_electronics\\_types\\_of\\_transformers.htm](https://www.tutorialspoint.com/basic_electronics/basic_electronics_types_of_transformers.htm)

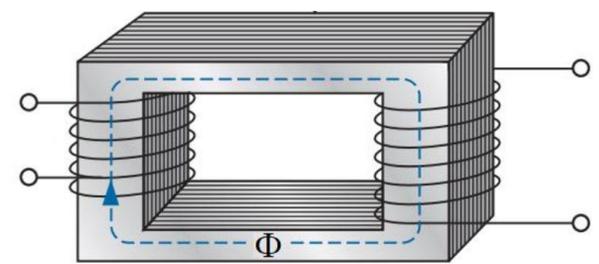
# Enrolamentos – Transformador monofásico

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

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

- ❑ Lado de menor tensão
  - Número menor de espiras;
  - Condutores de maior bitola.
  
- ❑ Lado de maior tensão
  - Número maior de espiras;
  - Condutores de menor bitola.

## ❑ Núcleo envolvido



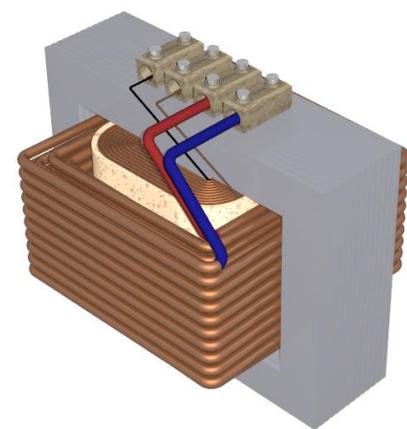
Transformador

Boylestad, R. L. . “Introdução a análise de circuitos”.



Fonte: Cootrans.

## ❑ Núcleo envolvente ou encouraçado



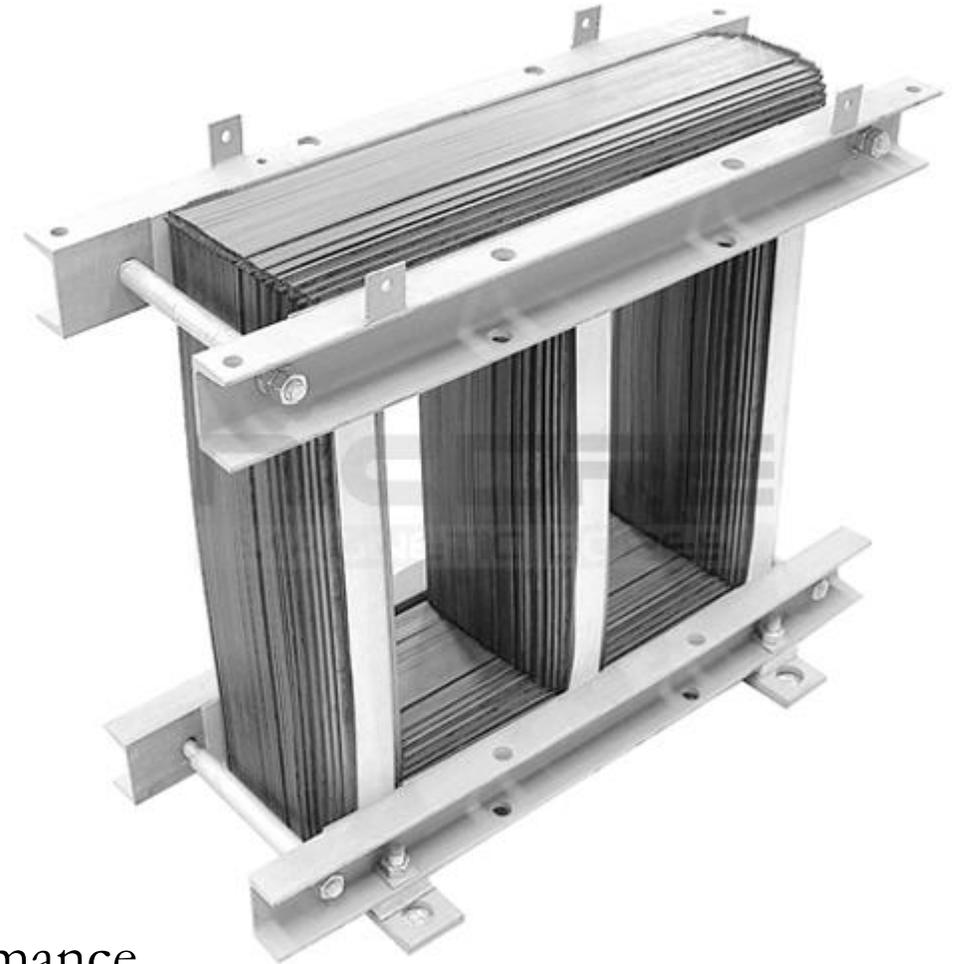
Fonte: Wikipédia.



Fonte: Cootrans.

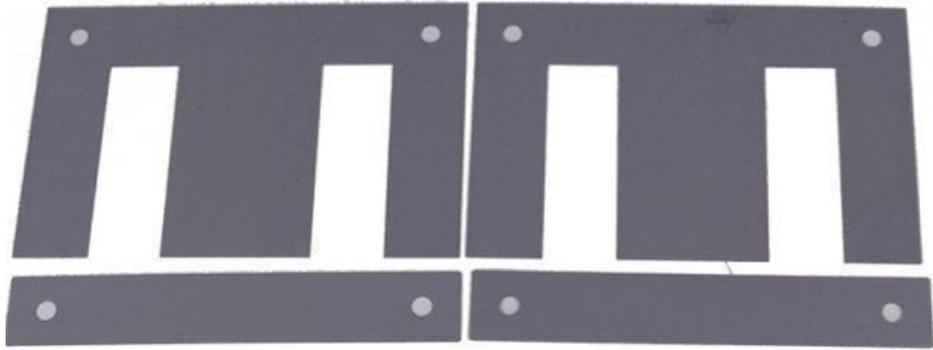
# Núcleo magnético - transformadores

- ❑ Material ferromagnético (**existem exceções!**);
- ❑ Material deve ser laminado (**por quê?**);
- ❑ Diferentes formatos de lâmina podem ser usados;
- ❑ Aço silício de grão orientados (GO): Melhor performance.



Fonte: Nicore

# Lâminas de material ferromagnético



Fonte: Tessim Indústria.



A. M. F. Diniz e R. D. Araújo. “Uma abordagem prática para o ensino do eletromagnetismo usando um motor de indução de baixo custo”.



Fonte: Tessim Indústria.

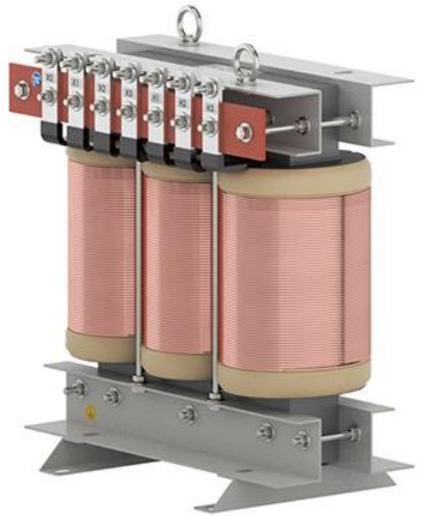


<http://www.africancrisis.org>

# Terminais de conexão

## ☐ Conectores

### ➤ Aplicações de baixa tensão



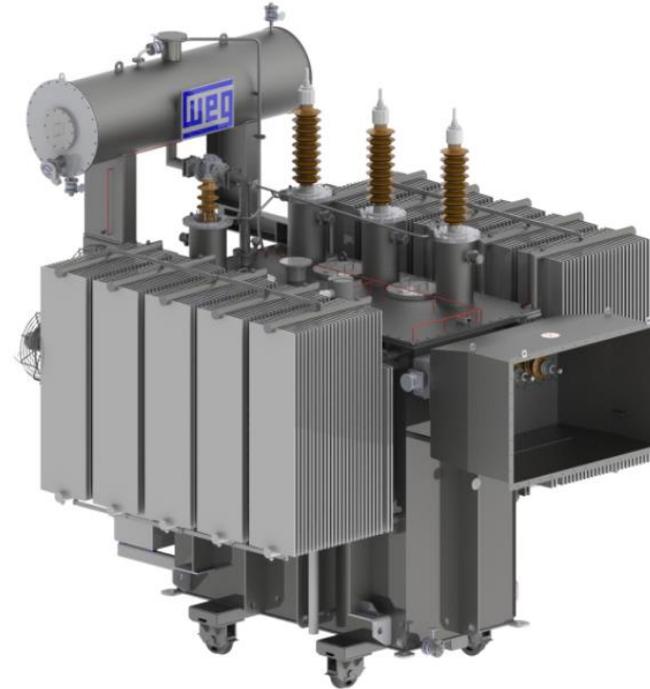
Fonte: Polux. Transformadores



Fonte: Interfase.

## ☐ Buchas

### ➤ Aplicações de alta tensão

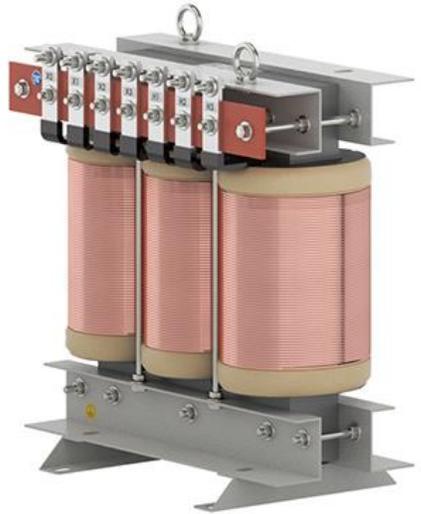


Fonte: WEG.



# Classificação quanto a refrigeração

## ❑ Transformadores a seco



Fonte: Polux. Transformadores



Fonte: Interfase.

## ❑ Transformadores a óleo



Fonte: WEG.

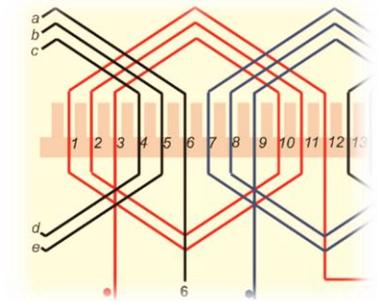


# Transformadores a óleo versus transformadores a seco

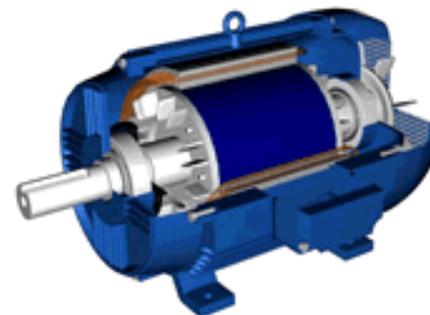
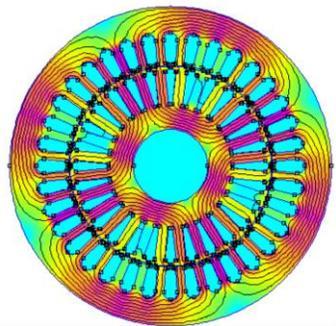
- ❑ Vantagens – Transformadores a óleo
  - Maior capacidade de refrigeração;
  - Maior densidade de potência;
  - Óleo: Contribui para melhorar a isolação;
  - Menor custo do equipamento.
  
- ❑ Desvantagens – Transformadores a óleo
  - Problemas em atmosferas explosivas;
  - Riscos ambientais (vazamento do óleo);
  - Manutenção (verificação do óleo);
  - Maior custo de instalação.



Fonte: WEG.



# Nomenclatura dos terminais e conexões



<http://www.semage.com.br/calternada.ph>

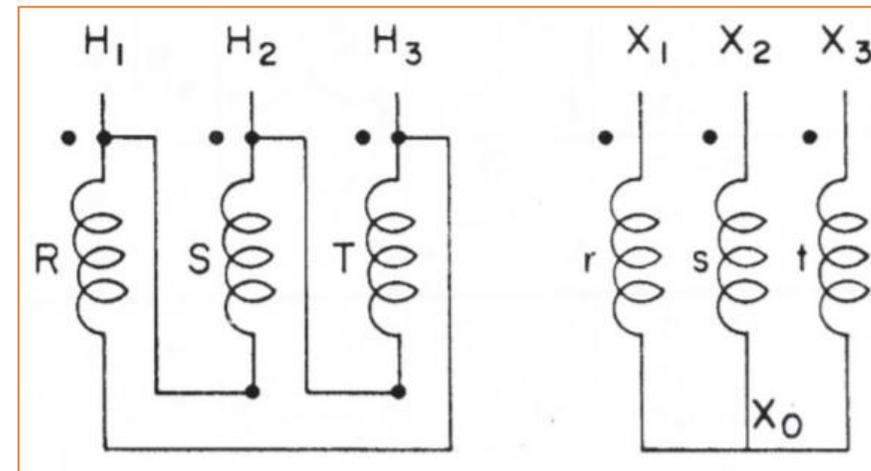
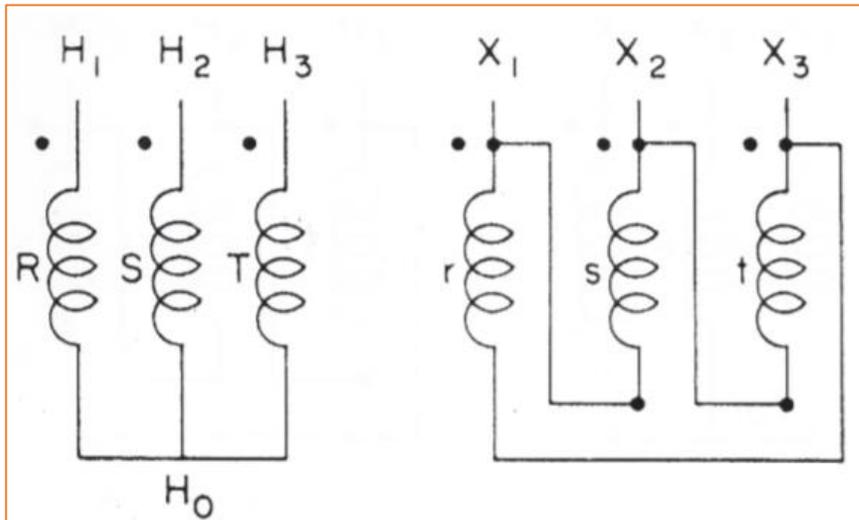
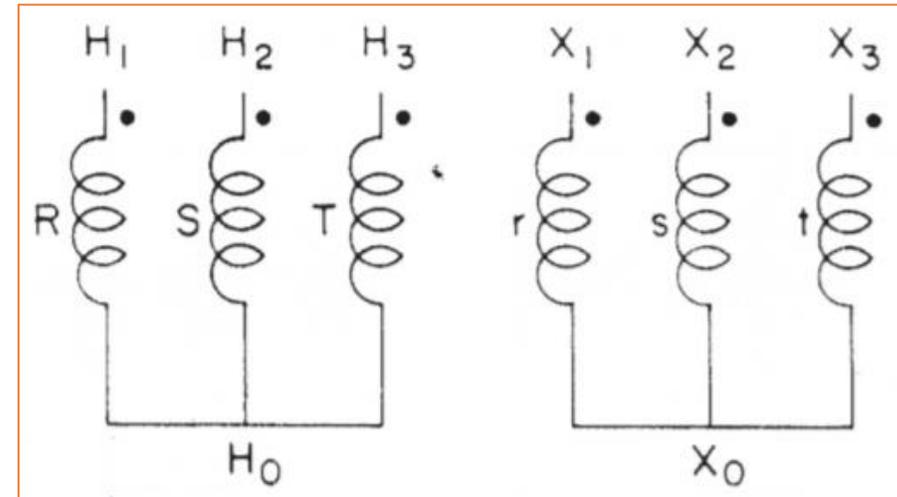
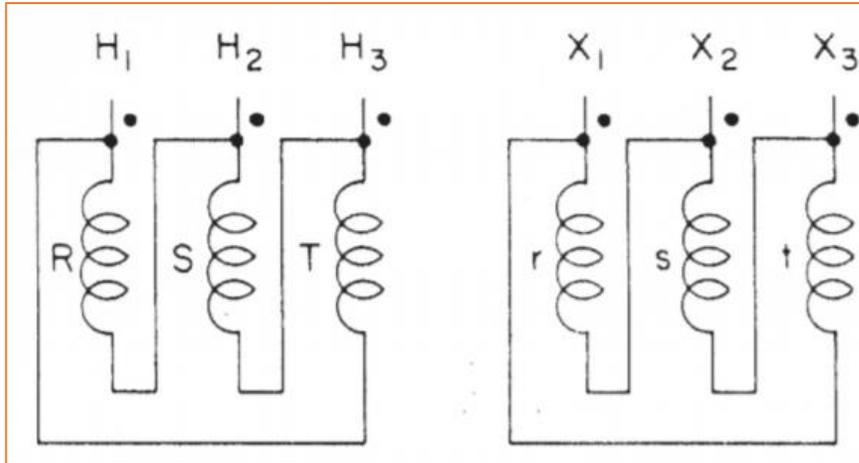


# Nomenclatura - Terminais

- ❑ Terminais de alta tensão: Denotado pela letra H;
- ❑ Terminais de baixa tensão: Denotado pela letra X;
- ❑ O número 0 indica a conexão do neutro;
- ❑ Os números 1, 2 e 3 denotam as fases R, S e T;
- ❑ Possibilidades: H0; H1; H2; H3 e X0; X1; X2; X3.

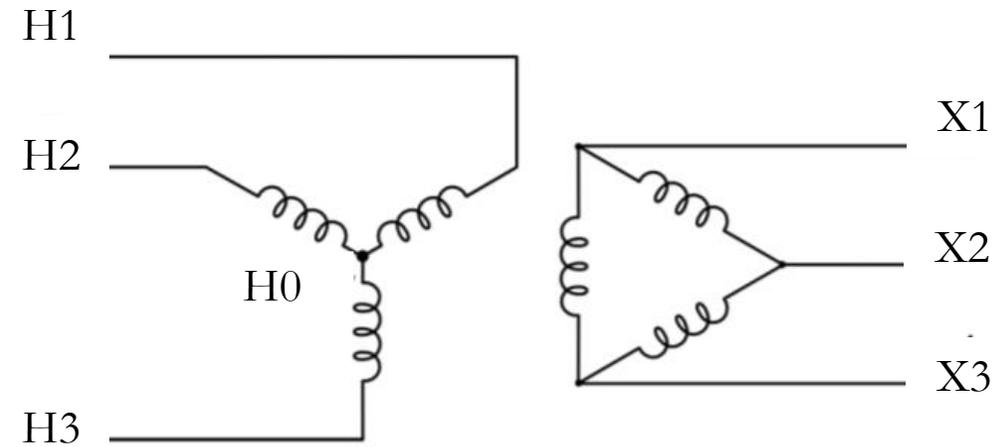
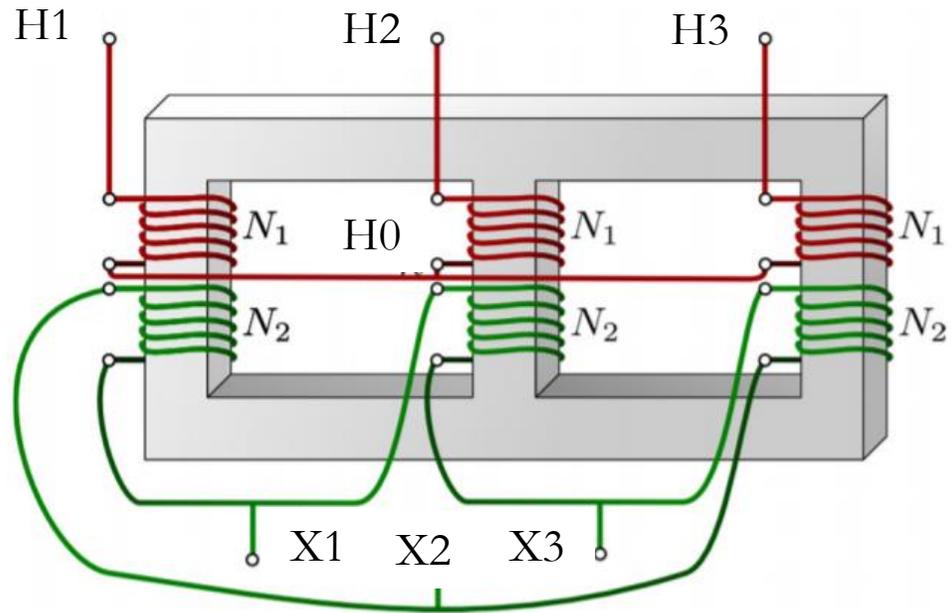


# Tipo de ligação



Fonte: Instrutemp. "Manual de Instruções Medidor digital de relação de transformação" ITTR 2000R

# Esquema de ligação interno – Transformador $Y - \Delta$



Fonte: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/trafo3.pdf>

# Obrigado pela Atenção



[www.gesep.ufv.br](http://www.gesep.ufv.br)



<https://www.facebook.com/gesep>



[https://www.instagram.com/gesep\\_vicosa/](https://www.instagram.com/gesep_vicosa/)



[https://www.youtube.com/channel/UCe9KOSGORXh\\_hDBIcxMU2Nw](https://www.youtube.com/channel/UCe9KOSGORXh_hDBIcxMU2Nw)



Estimate - Sistemas  
Fotovoltaicos



<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.developer.gesep.estimate>