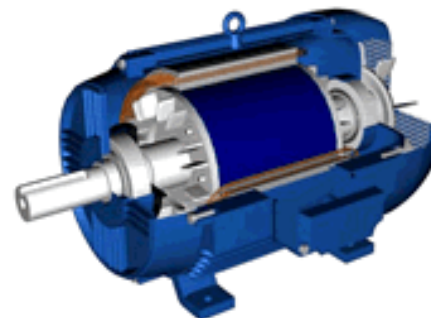
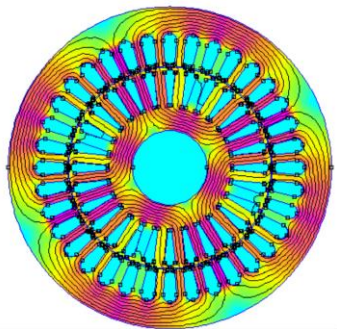


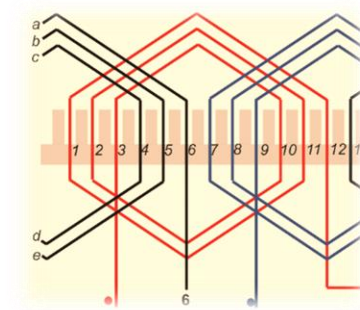
Máquina síncrona operando como motor

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



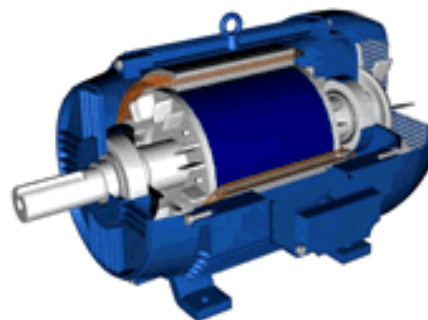
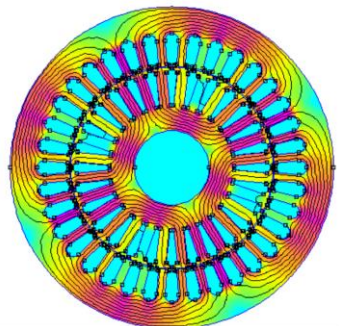
Sumário

- ❑ Características principais dos motores síncronos;
- ❑ Métodos de partida e controle de velocidade;
- ❑ Aplicações.



Principais características

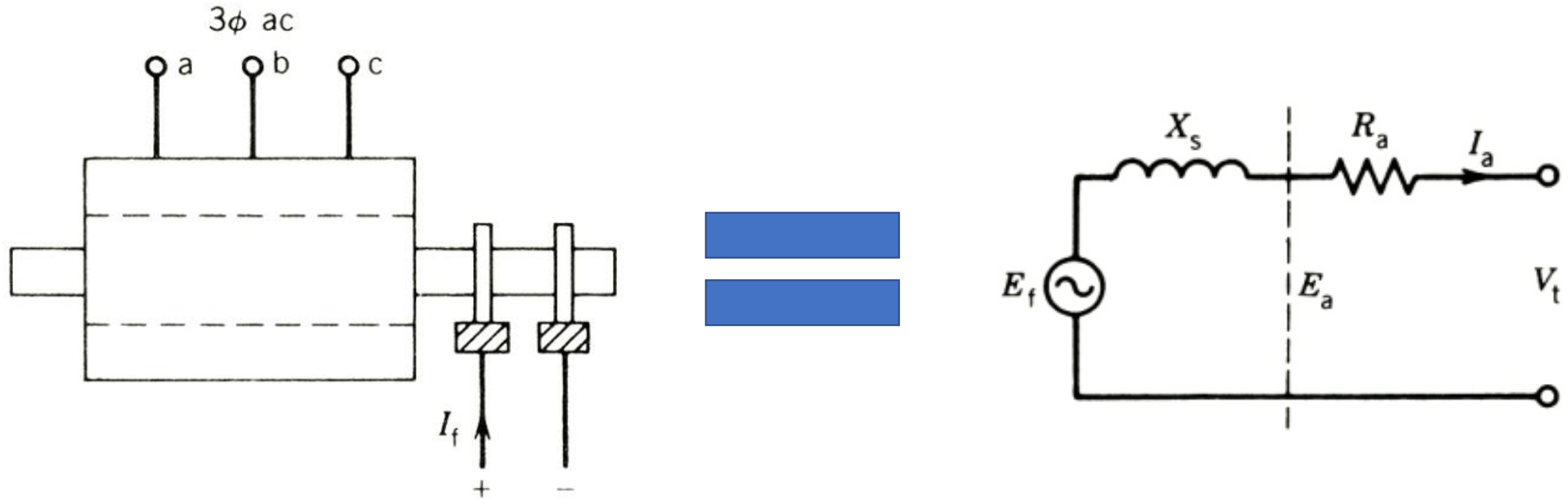
Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



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

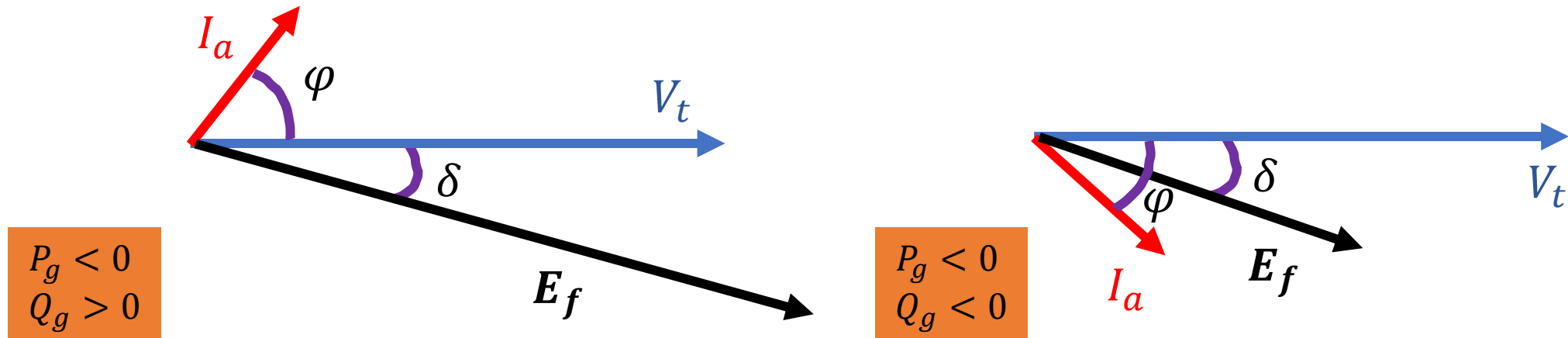


Circuito equivalente do motor síncrono



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

Diagrama fasorial – motor síncrono



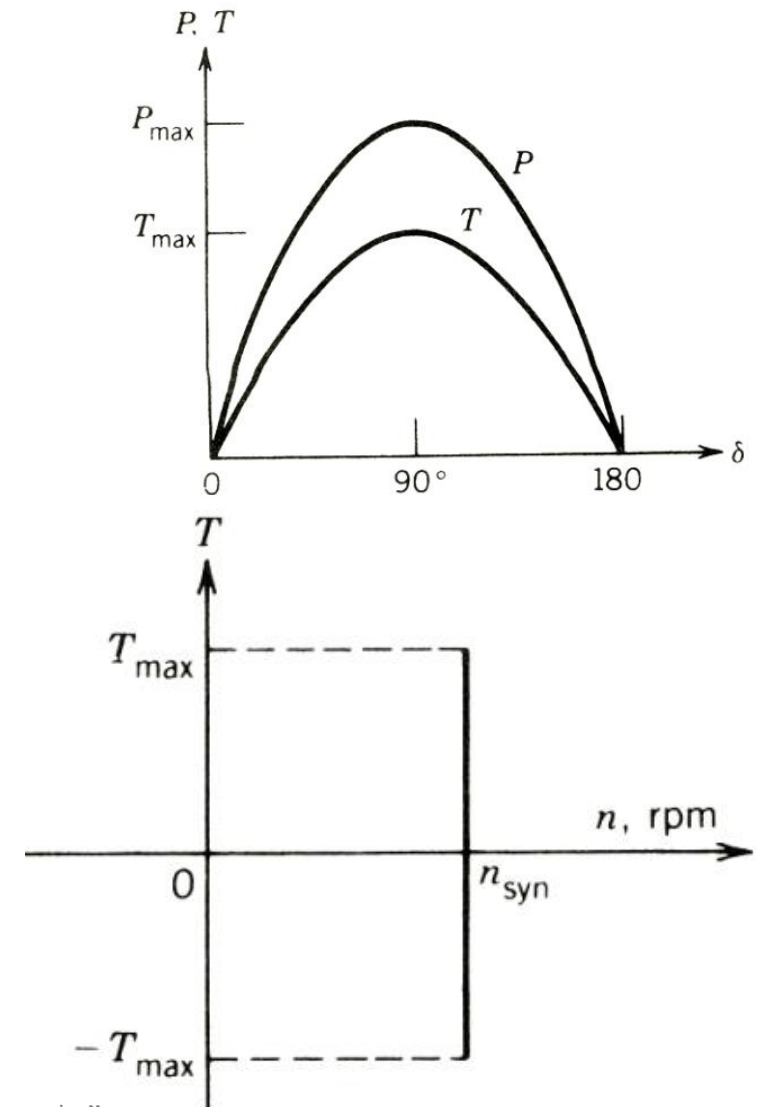
- ❑ Máquina sobreexcitada → valor Elevado de corrente de campo → gera potência reativa;
- ❑ Máquina subexcitada → valor baixo de corrente de campo → absorve potência reativa.

Características de conjugado

$$P_{3\phi} = \frac{3|V_t||E_f|}{|X_s|} \sin \delta$$

$$T = \frac{P_{3\phi}}{\omega_s} = \frac{3}{\omega_s} \frac{|V_t||E_f|}{X_s} \sin \delta$$

- ❑ Em teoria, pode-se obter qualquer conjugado de 0 a T_{max} ;
- ❑ Além disso, a velocidade permanece na velocidade síncrona!
- ❑ Conclusão: A curva é uma reta vertical!

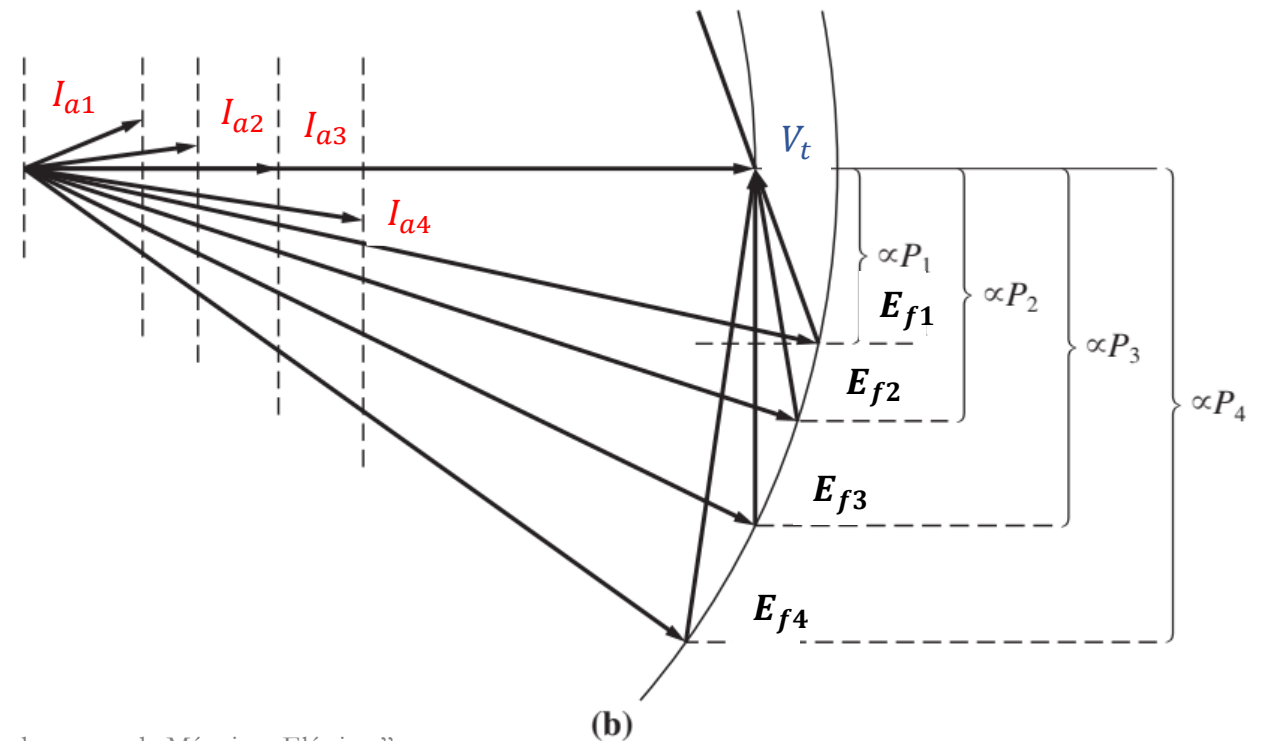
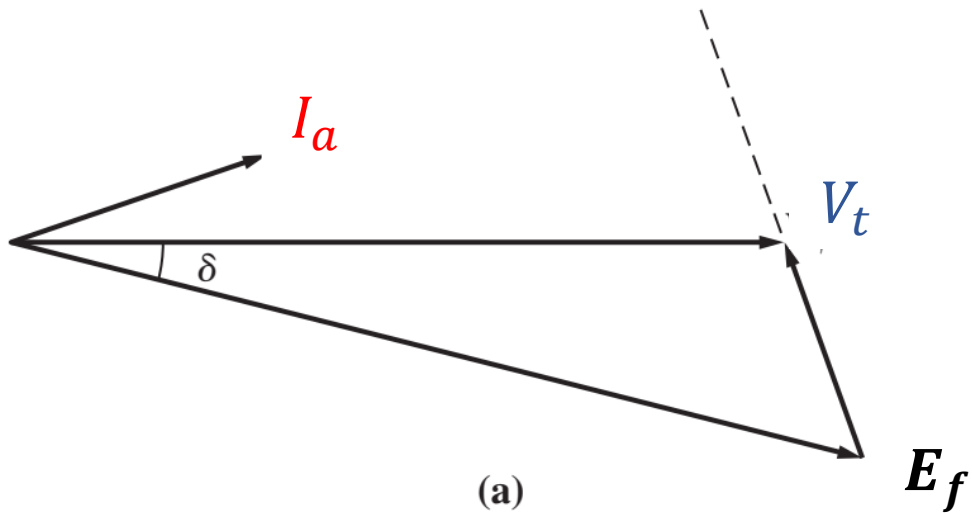


Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

Efeito de variação da carga (considerando apenas X_s)

$$E_f = V_t \angle 0 - jX_s I_a \angle \varphi$$

$$P_{3\phi} = \frac{3|V_t||E_f|}{|X_s|} \sin \delta$$

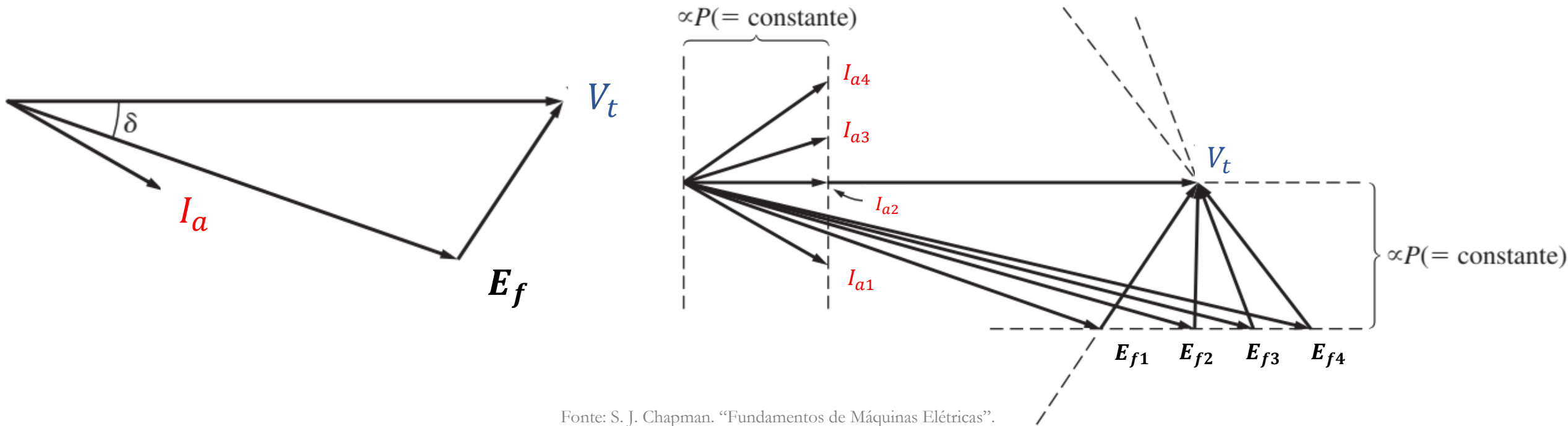


Fonte: S. J. Chapman. "Fundamentos de Máquinas Elétricas".

Efeito da variação da corrente de campo (considerando apenas X_s)

$$E_f = V_t \angle 0 - jX_s I_a \angle \varphi$$

$$P_{3\phi} = \frac{3|V_t||E_f|}{|X_s|} \sin \delta$$



Fonte: S. J. Chapman. "Fundamentos de Máquinas Elétricas".

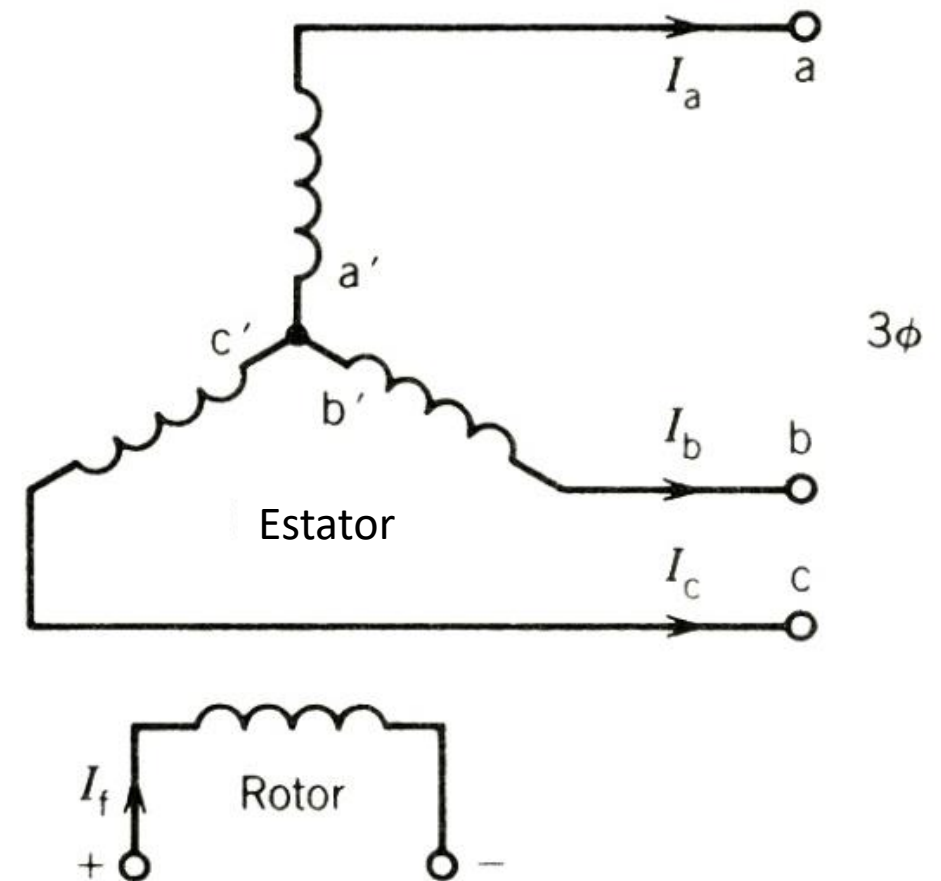
Efeito da variação da corrente de campo (considerando apenas X_s)

❑ Conclusão → existe uma corrente de campo que corresponde ao fator potência unitário;

❑ Mínima corrente de armadura;

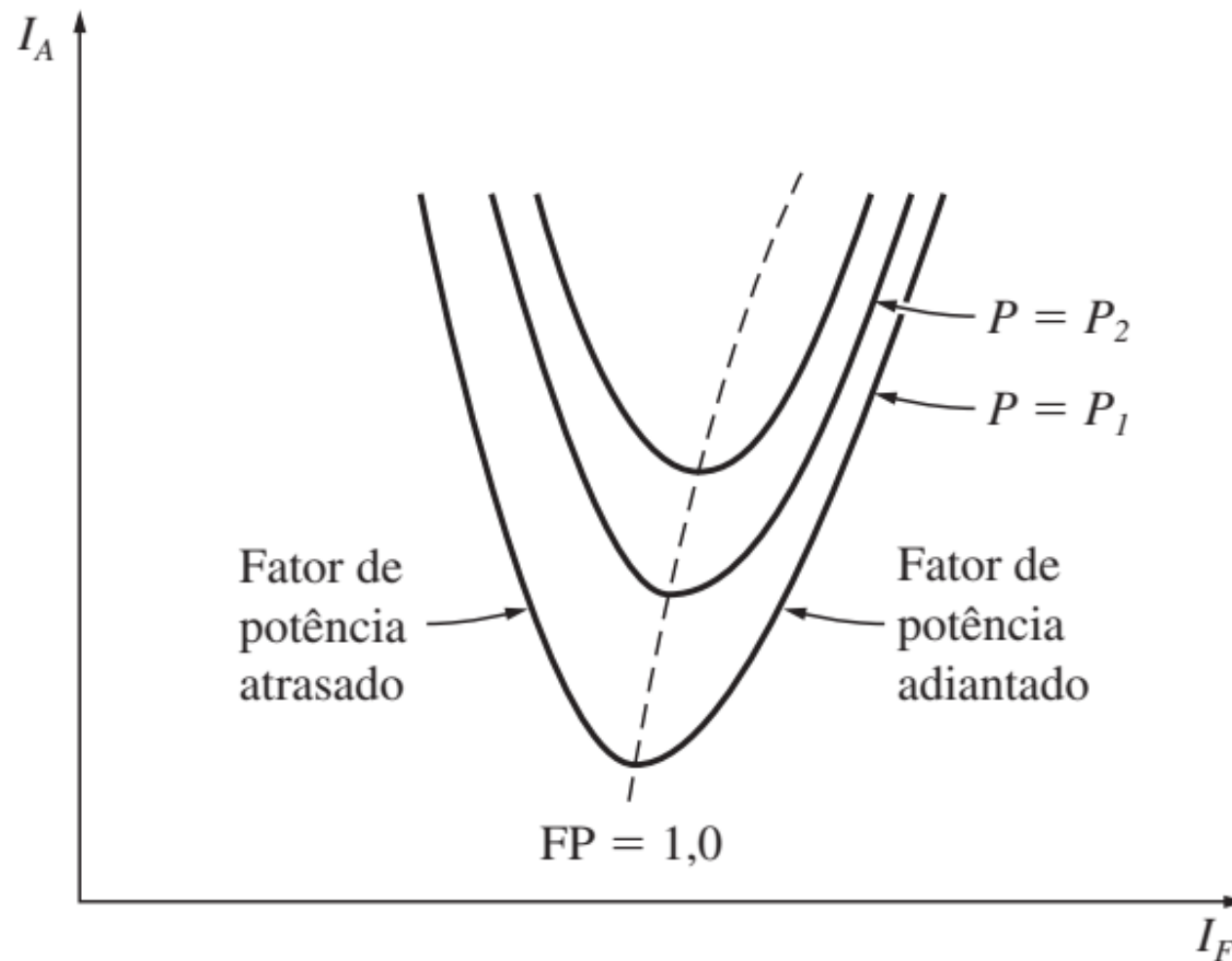
❑ Curvas em V do motor síncrono;

❑ I_a versus I_f .



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

Curvas em V de um motor síncrono



Fonte: S. J. Chapman. "Fundamentos de Máquinas Elétricas".

Obrigado pela Atenção



Bons estudos!



Dúvidas: afcupertino@ieee.org



www.gesep.ufv.br



@GESEP



@gesep_vicosa



Gesep



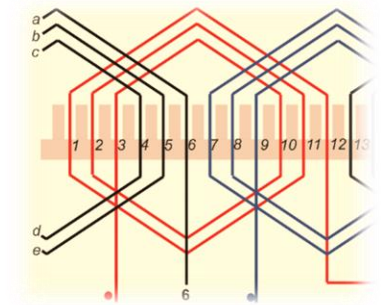
Pesquise por:
“GESEP UFV”



EStimate - Sistemas
Fotovoltaicos

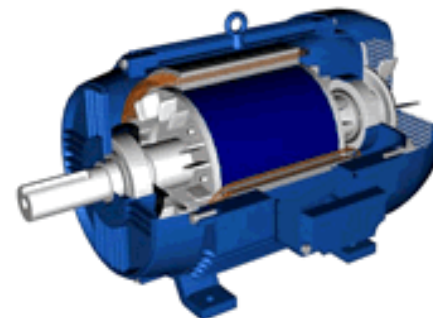
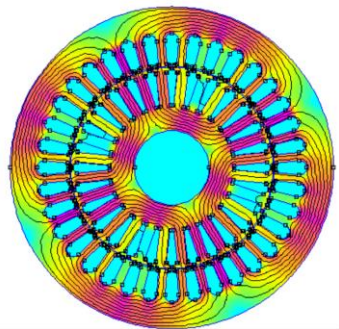


Pesquise por:
“EStimate”



Partida e controle de velocidade

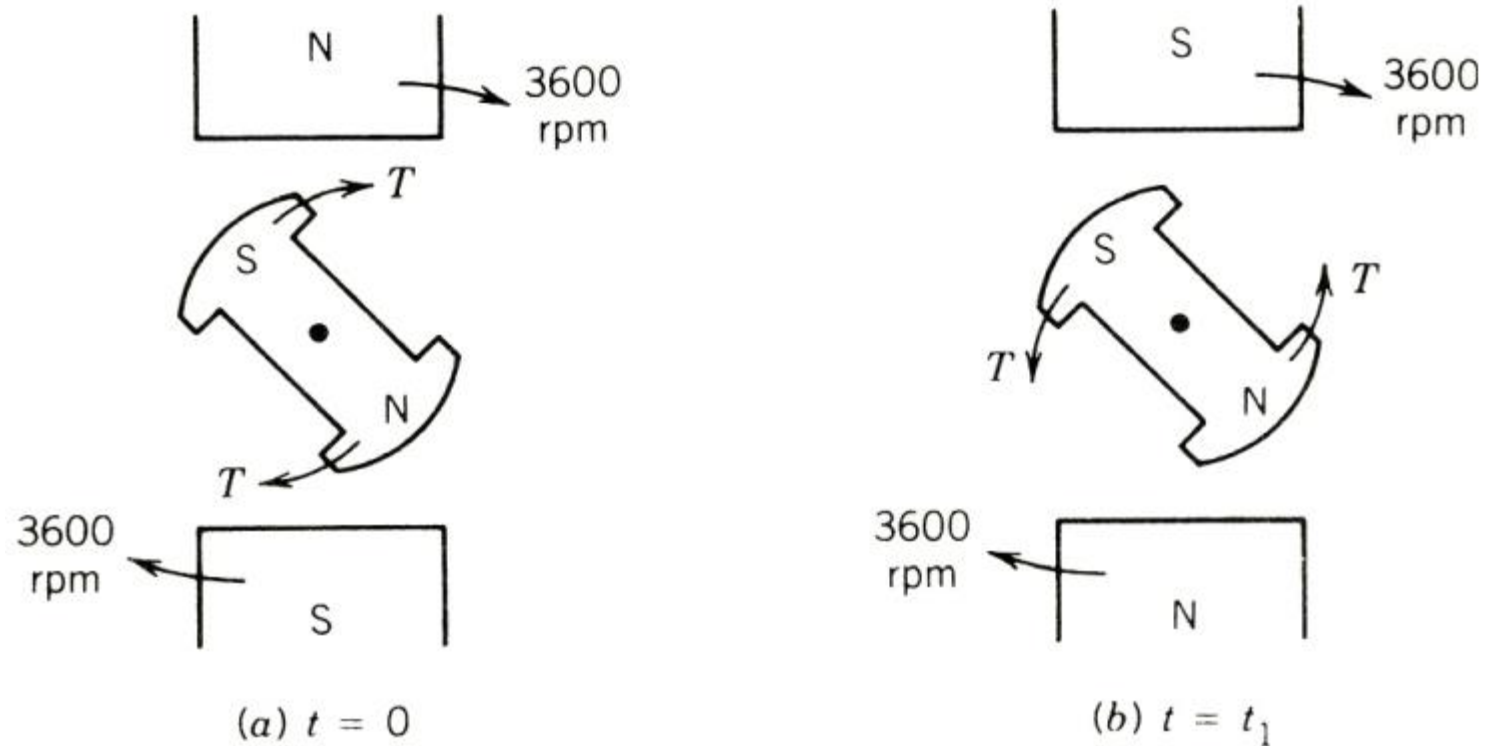
Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



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



Problema: Partida do motor síncrono



❑ Não existe conjugado de partida no motor síncrono!

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

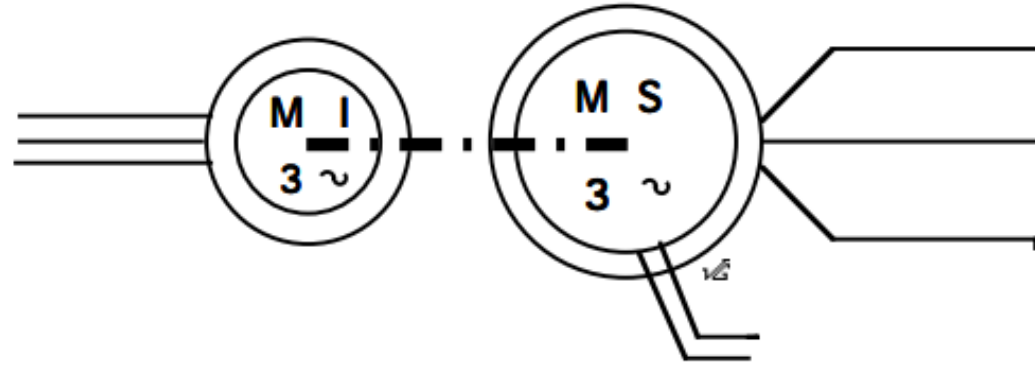
Métodos de partida

Utilização de uma máquina motriz externa (motor auxiliar);

Utilização de um conversor de frequência;

Partida utilizando o enrolamento amortecedor.

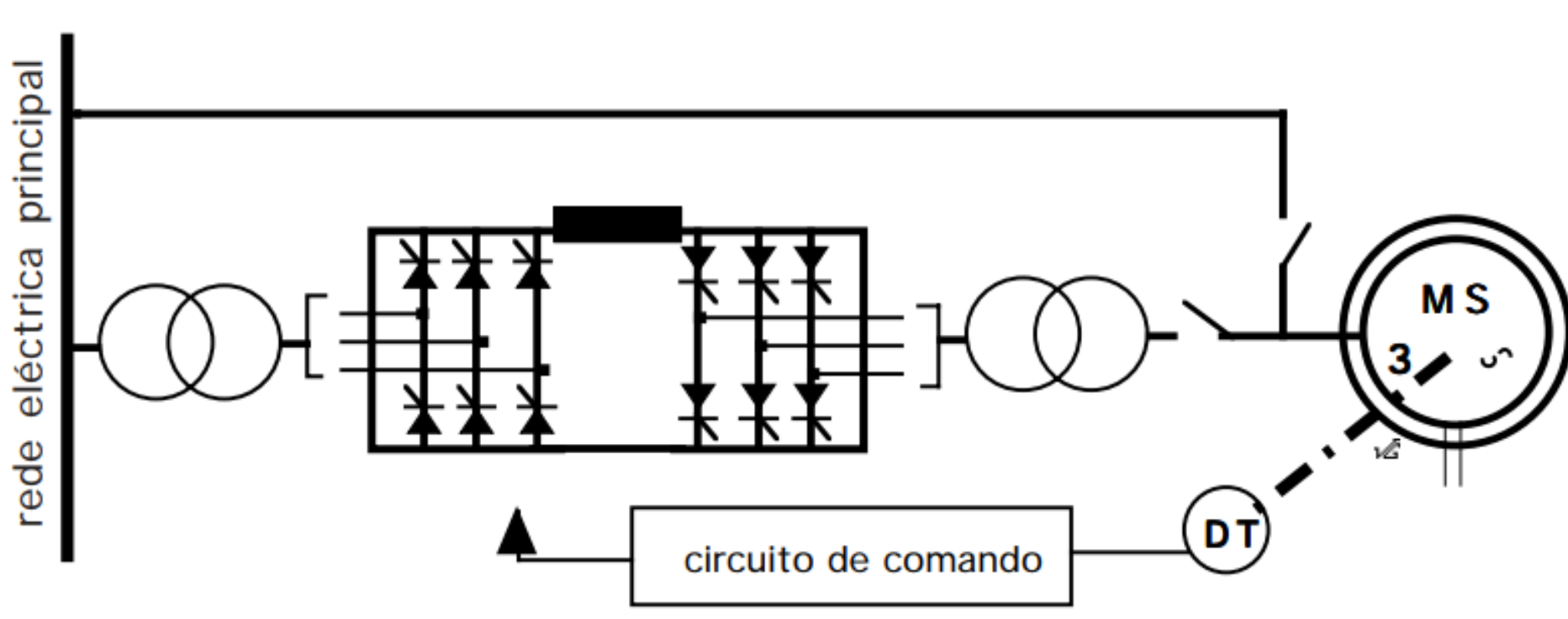
Utilização de uma máquina motriz externa



- Motor de indução com mesmo número de polos;
- Motor de indução com um número menor de polos;
- Motor de corrente contínua.

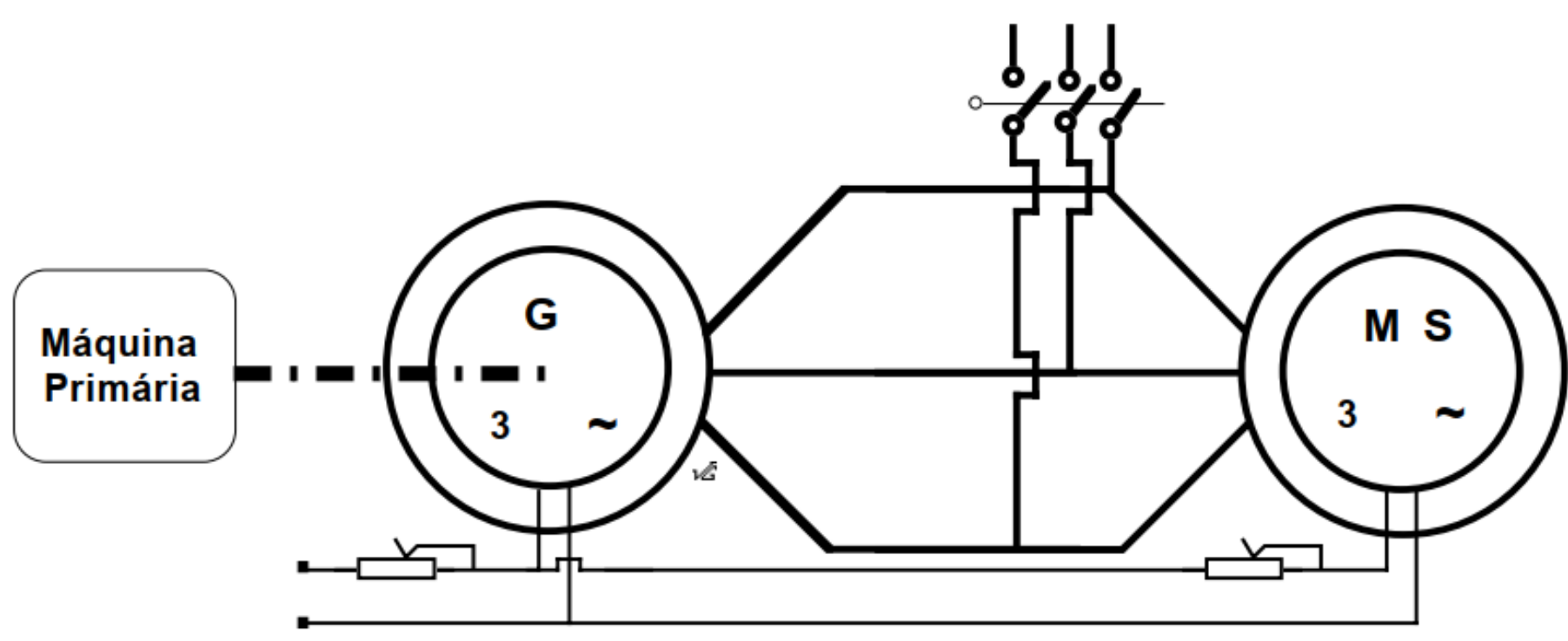
Fonte: M. V. Guedes. "Máquinas Eléctricas Síncronas: Arranque de motores síncronos". Universidade do Porto. 2013

Utilização de um conversor de frequência



Fonte: M. V. Guedes. "Máquinas Eléctricas Síncronas: Arranque de motores síncronos". Universidade do Porto. 2013

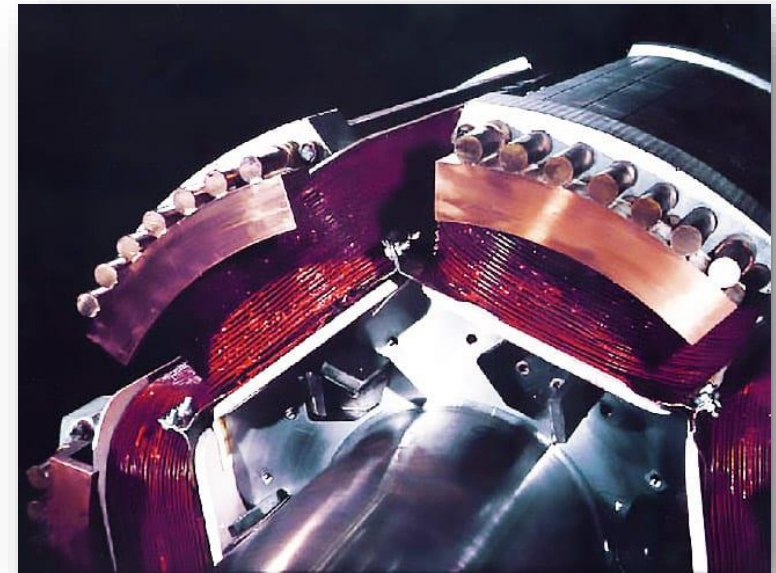
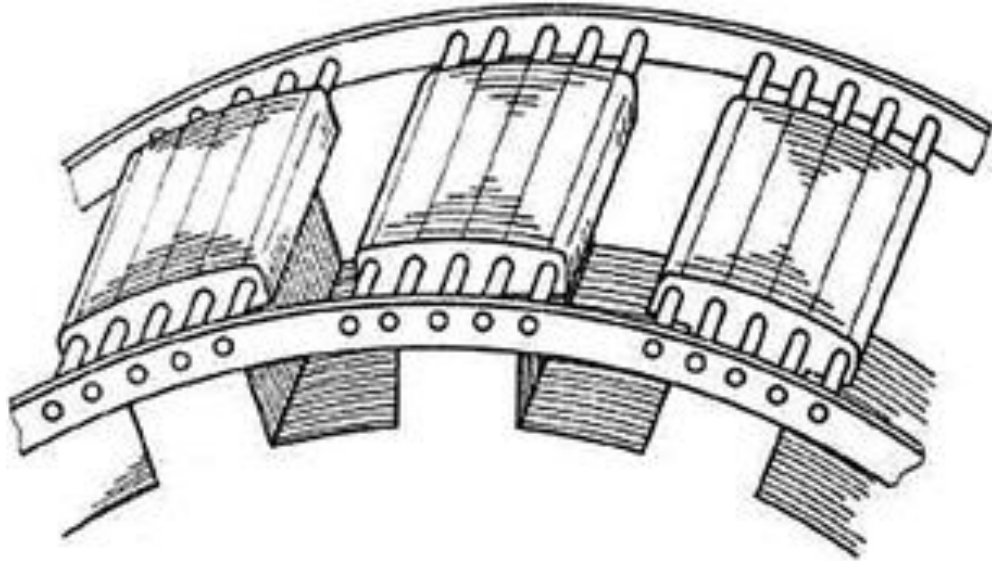
Abordagem “híbrida”



Fonte: M. V. Guedes. “Máquinas Eléctricas Síncronas: Arranque de motores síncronos”. Universidade do Porto. 2013

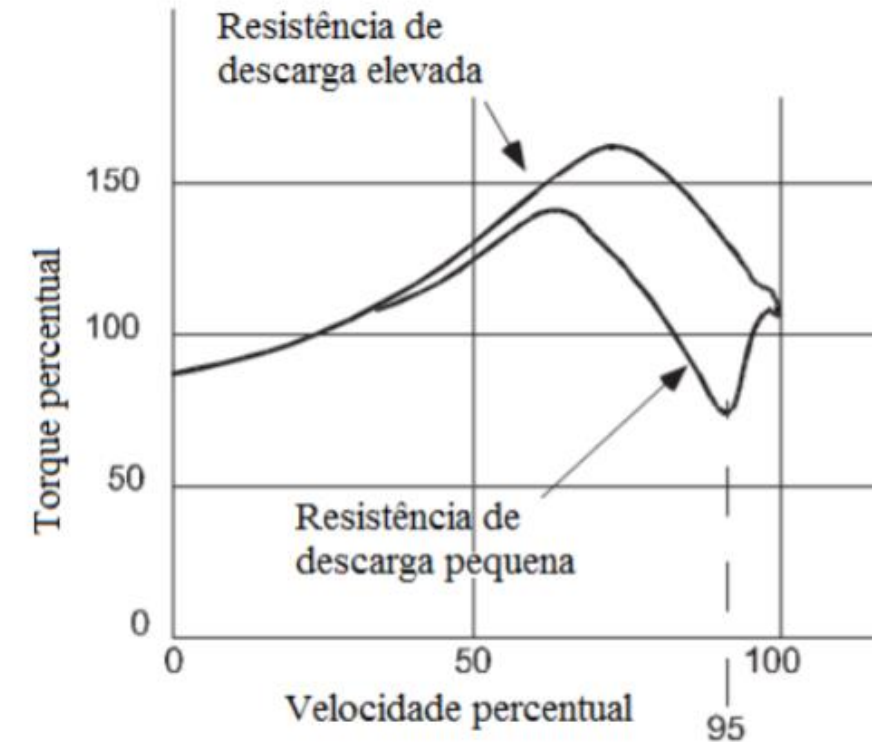
Enrolamento Amortecedor

- ❑ Utilizado como mecanismo de partida em motores síncronos;
- ❑ Garante o amortecimento de oscilações durante transitórios;
- ❑ “Gaiola de esquilo” instalada na estrutura de rotor da máquina síncrona.



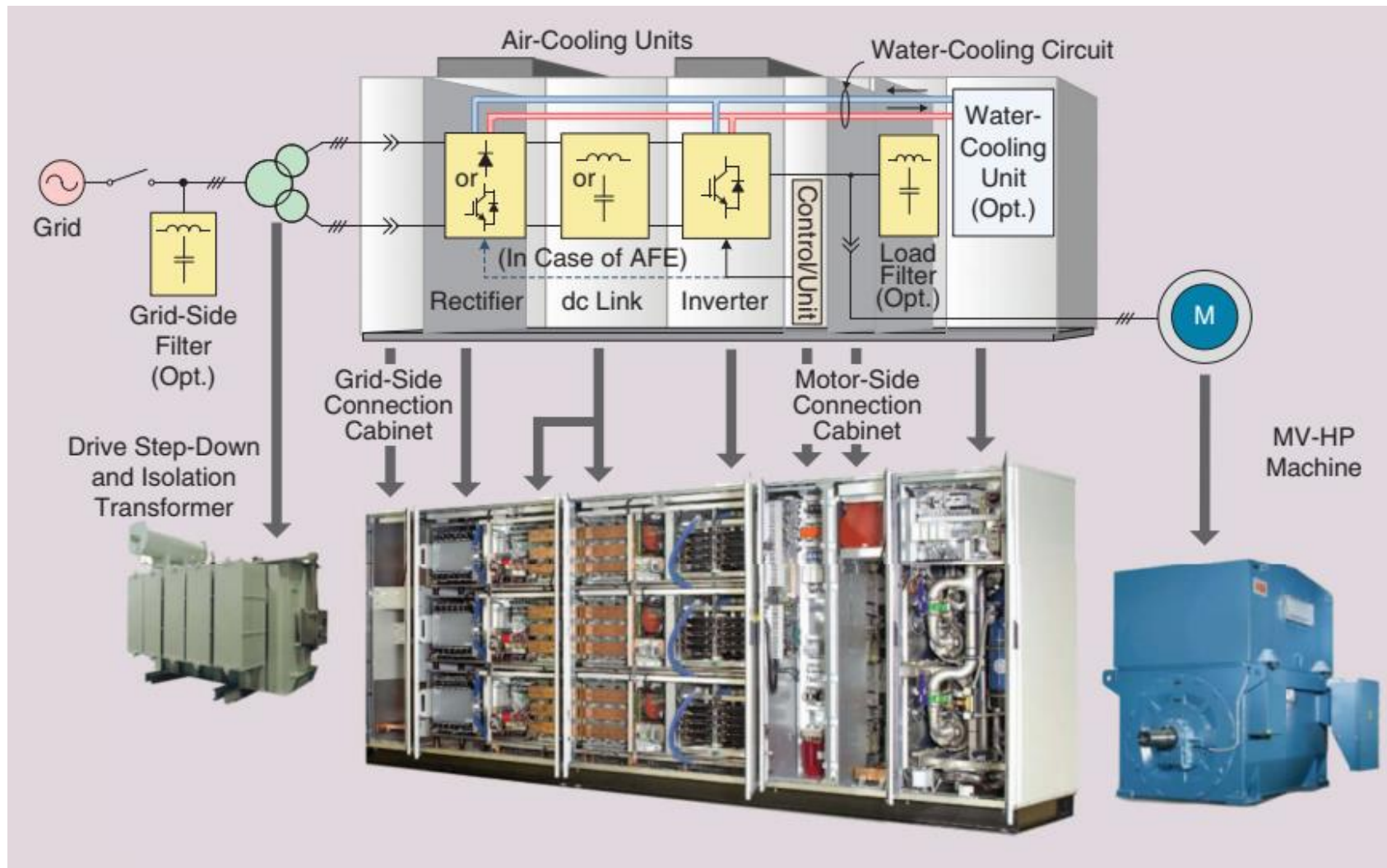
Enrolamento Amortecedor - Desafios

- ❑ Circuito de rotor não deve ser mantido aberto;
- ❑ Resistência: 2 a 5 vezes a resistência de rotor;
- ❑ O escorregamento deve ser suficientemente pequeno ($<4\%$, 3% típico);
- ❑ Valores maiores de excitação de campo favorecem a sincronização;
- ❑ Problema de corrente de partida como em motores de indução.



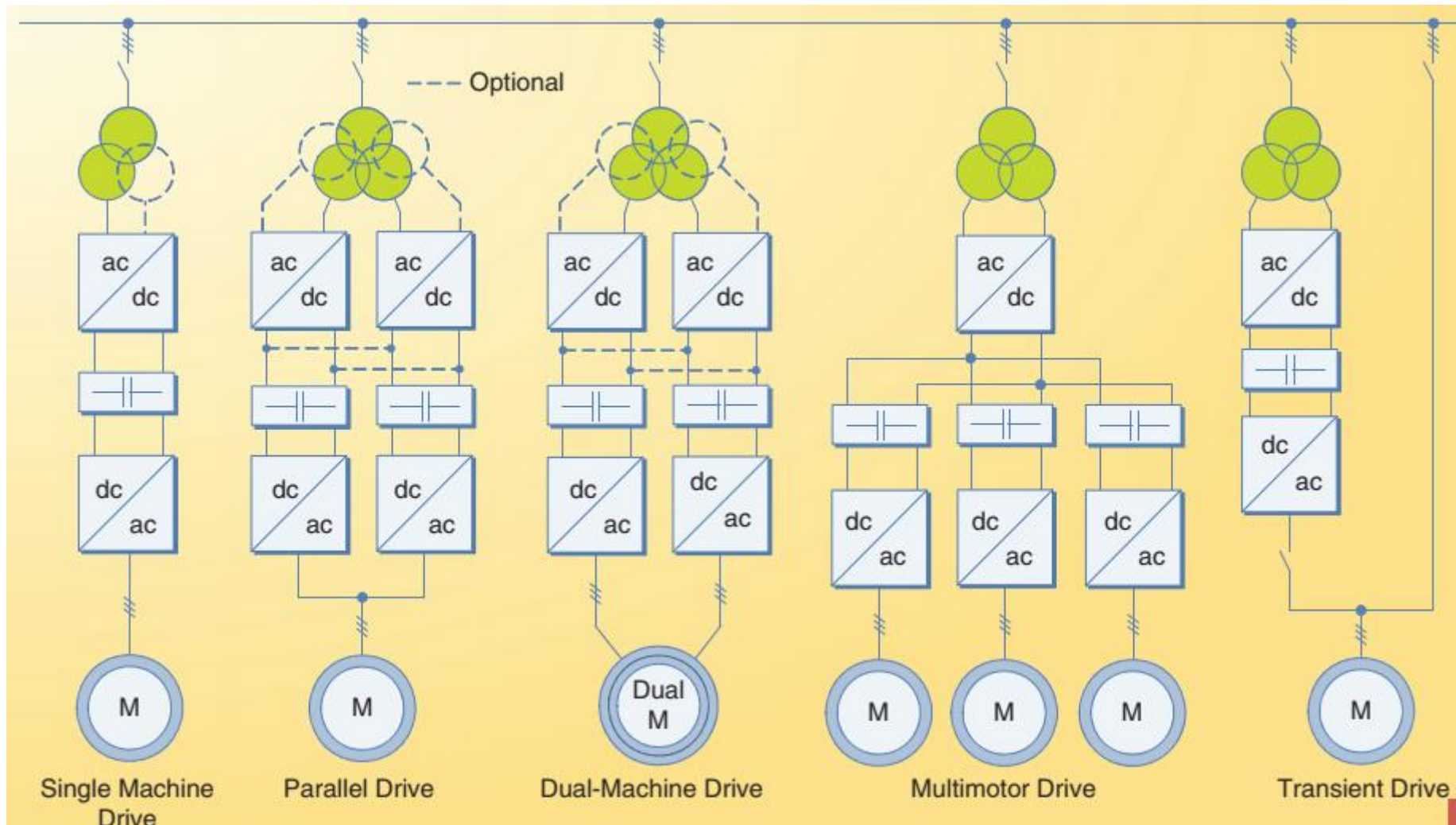
Fonte: Varixx. "Nota Técnica 003/2010"

Variação de velocidade de motores síncronos



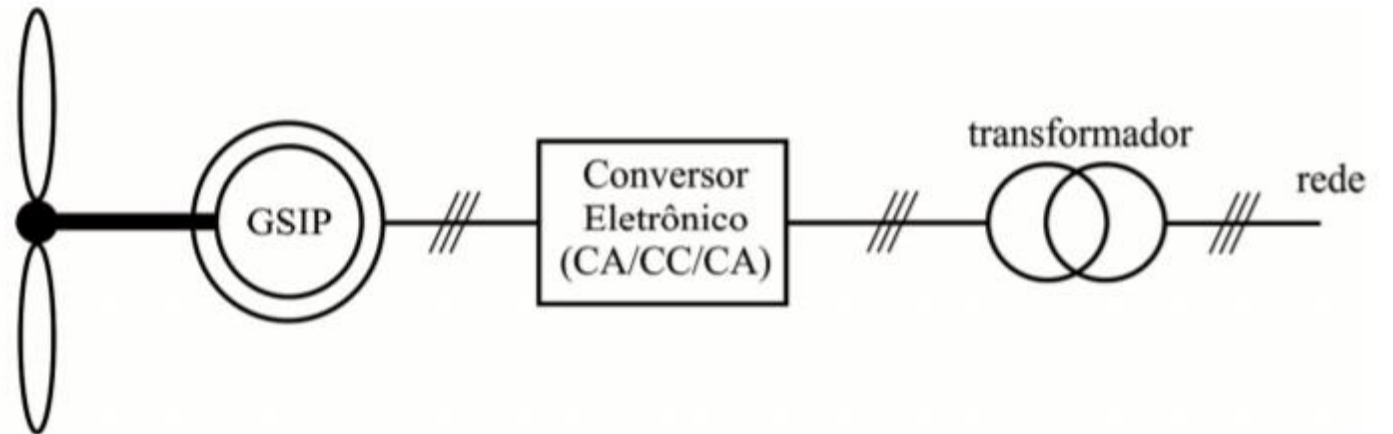
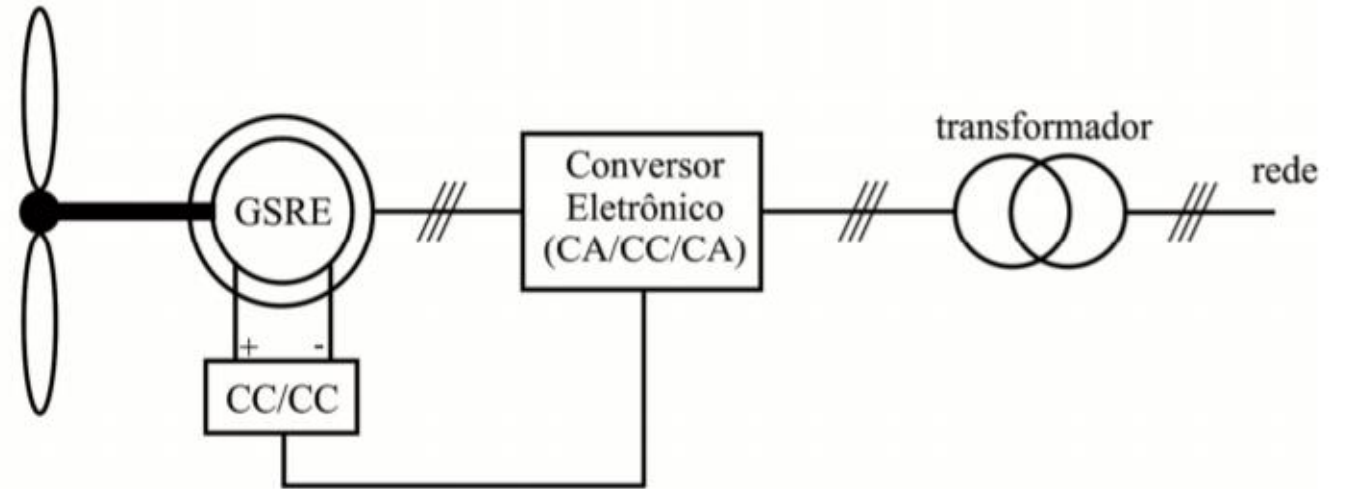
Fonte: S. Kouro et. Al., "Powering the future of Industry". High-Power Adjustable Speed Drive topologies". IEEE Industry Applications Magazine. 2012

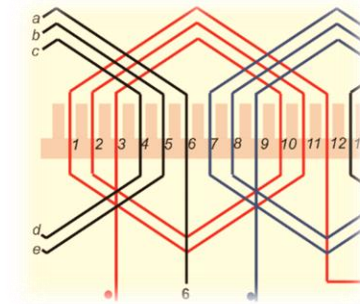
Algumas topologias empregadas



Fonte: S. Kouro et. Al., "Powering the future of Industry". High-Power Adjustable Speed Drive topologies". IEEE Industry Applications Magazine. 2012

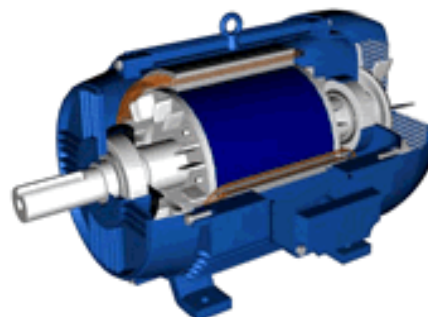
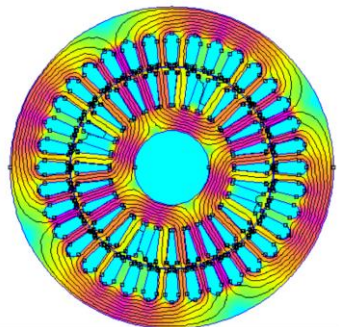
Estrutura turbina eólica com gerador síncrono





Aplicações de motores síncronos

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



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



Por que utilizar motores síncronos?

- Correção de fator de potência;
- Operação em velocidade constante durante sobrecargas ou variações de tensão (dentro dos limites de estabilidade);
- Alta capacidade de conjugado e sobrecarga;
- Alto rendimento;
- Maior estabilidade quando combinado a inversores de frequência;
- Desvantagem: Mais caros que motores de indução para a mesma potência.



Condensadores síncronos

- ❑ Máquina síncrona conectada à rede elétrica sem carga no eixo;
- ❑ Capacidade de corrente usada para injeção ou absorção de potência reativa;
- ❑ Utilizado no sistema elétrico de potência para auxiliar no controle de tensão e frequência durante distúrbios.



Fonte: ABB

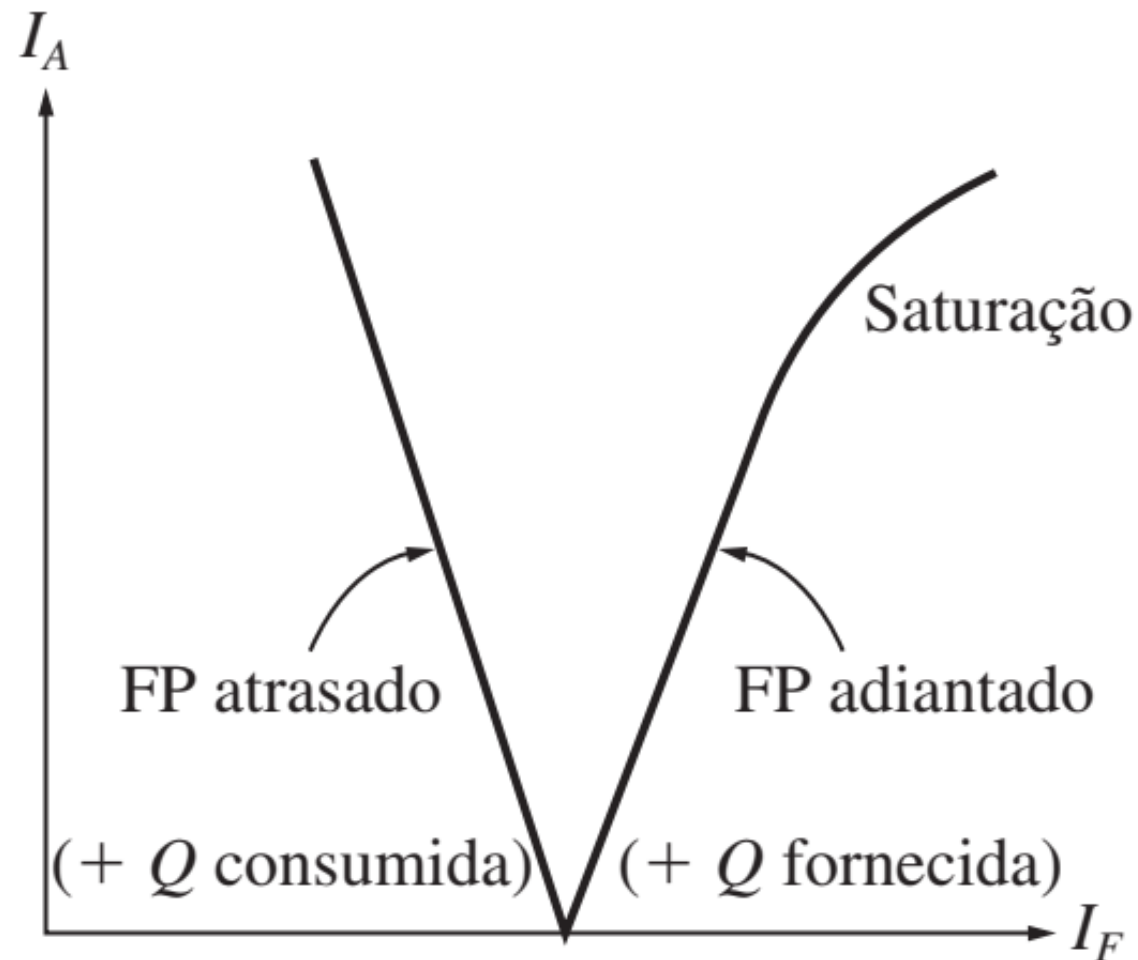


Fonte: WEG




Fonte: Eletronorte

Curva em V de um condensadores síncronos



Fonte: S. J. Chapman. "Fundamentos de Máquinas Elétricas".

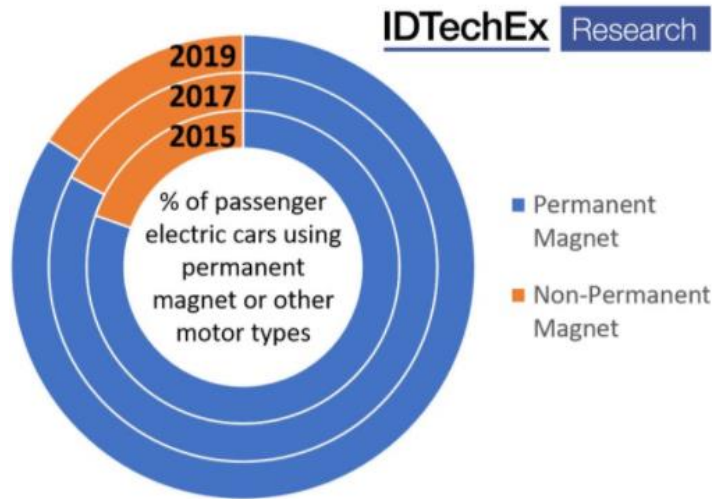
Motor de indução versus Máquina síncrona de ímãs permanentes

- ❑ Comparação quando combinação inversor de frequência + motor é considerada;
- ❑ Aplicações embarcadas! 



Fonte: WEG

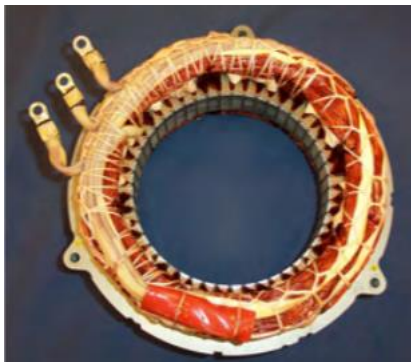
Comparação motores empregados – veículos elétricos



Rotor – máquinas síncronas a ímas permanentes



Estator: Distribuído ou concentrado



Fontes:

[1] IDTechEx.

[2] B. Sarlioglu et. al. “Benchmarking of electric and hybrid vehicle electric machines, power electronics, and batteries”. 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM)

Obrigado pela Atenção



Bons estudos!



Dúvidas: afcupertino@ieee.org



www.gesep.ufv.br



@GESEP



@gesep_vicosa



Gesep



Pesquise por:
“GESEP UFV”



EStimate - Sistemas
Fotovoltaicos



Pesquise por:
“EStimate”