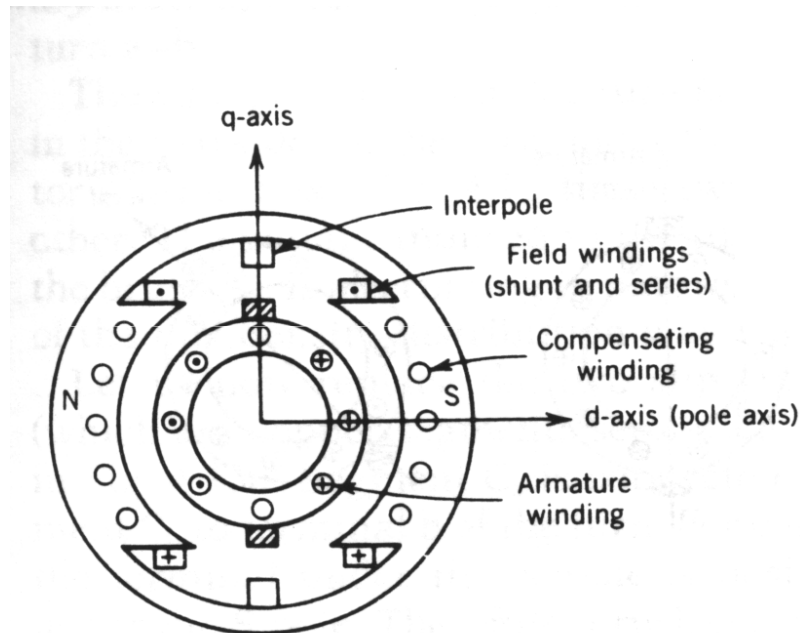
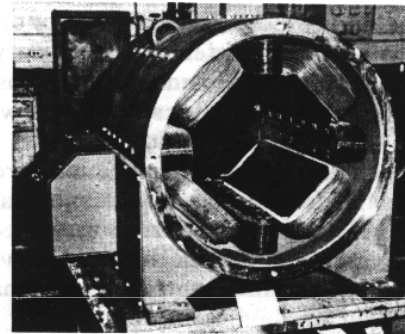


Características construtivas

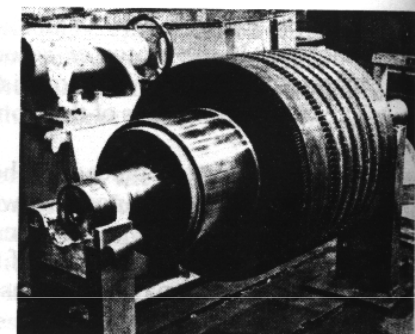


Campo

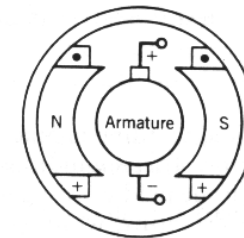


(a)

Armadura



(b)



- Enrolamento de campo: produção de fluxo (enrolamento concentrado ou a ímãs permanentes);
- Enrolamento de armadura: conversão de energia (enrolamento distribuído)

Funcionamento do comutador

Orientação da FMM de armadura:

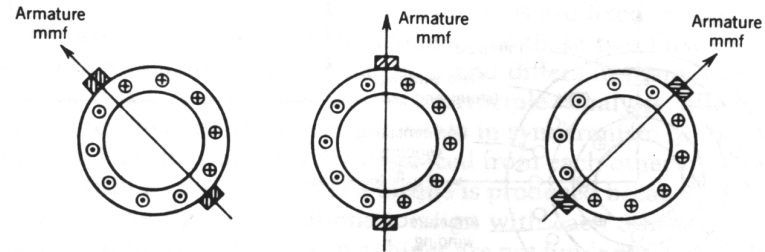
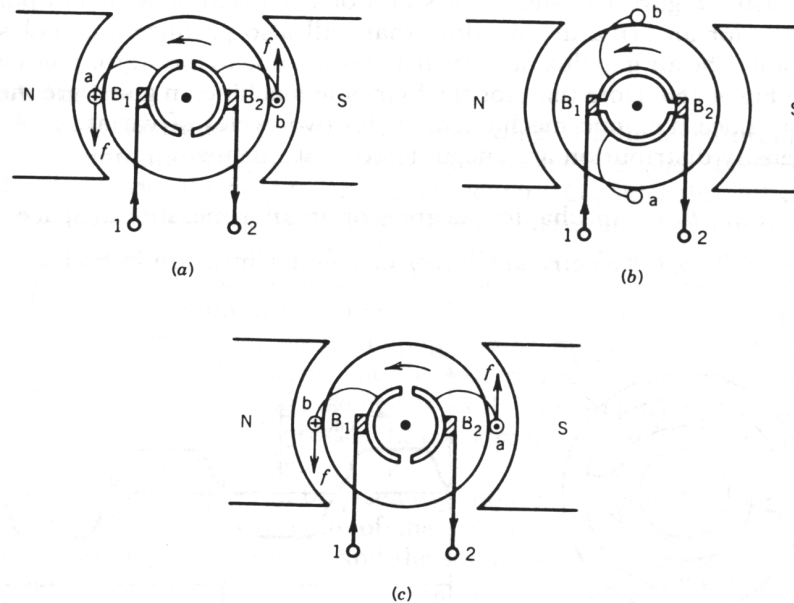


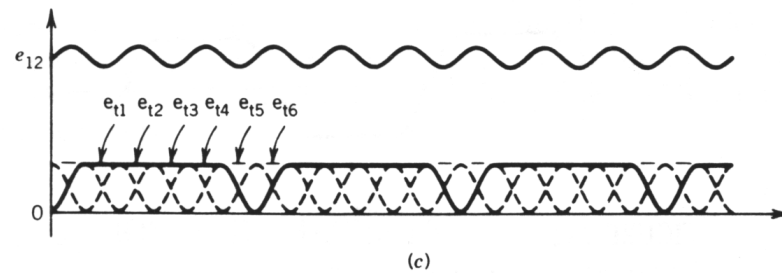
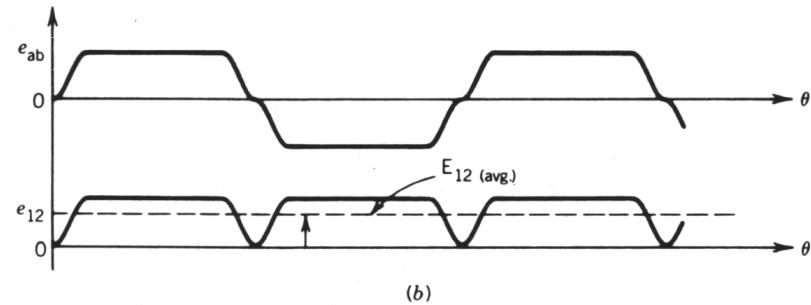
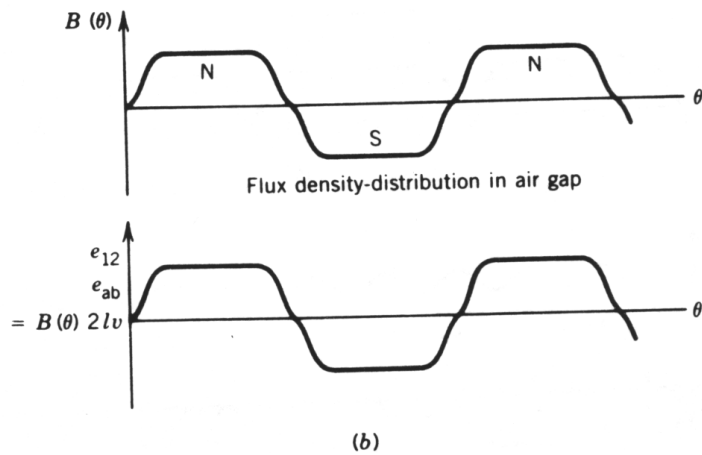
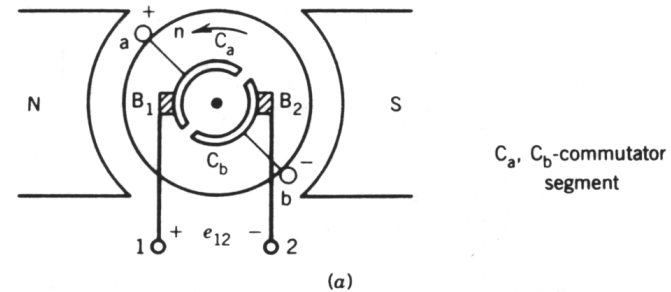
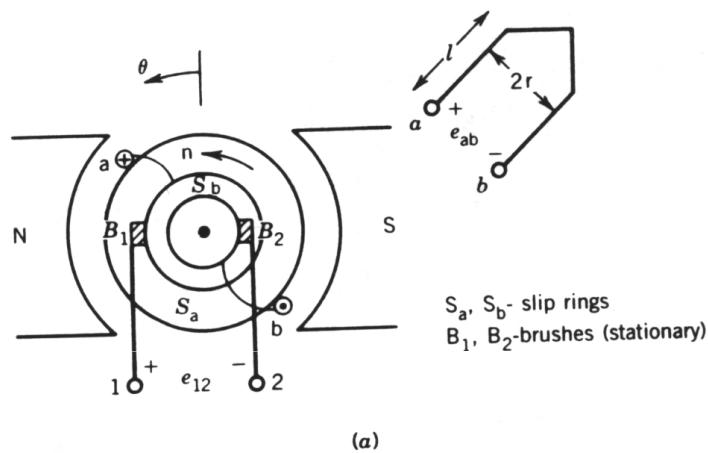
FIGURE 4.11
Shift of brush position.

Produção de força:



Funcionamento do comutador

Produção de f.e.m.

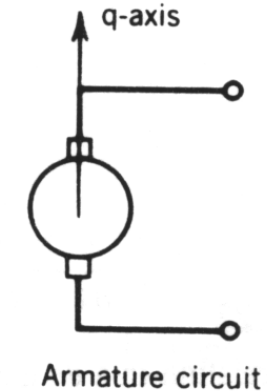
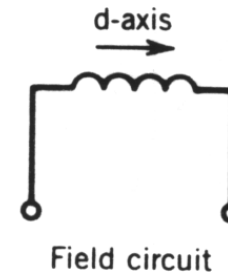


Tensão Induzida:

$$e_t = 2.B(\theta).l.w_r.r$$

$$\overline{e_t} = 2.\overline{B(\theta)}.l.w_r.r \Rightarrow \overline{B(\theta)} = \frac{\Phi}{A} = \frac{\Phi.P}{2\pi r l}$$

$$\overline{e_t} = \frac{\Phi.P}{\pi}.w_r \Rightarrow E_a = \frac{N}{a}.\overline{e_t} = \frac{NP}{\pi.a}.\Phi.w_r \Rightarrow E_a = K_a.\Phi.w_r$$



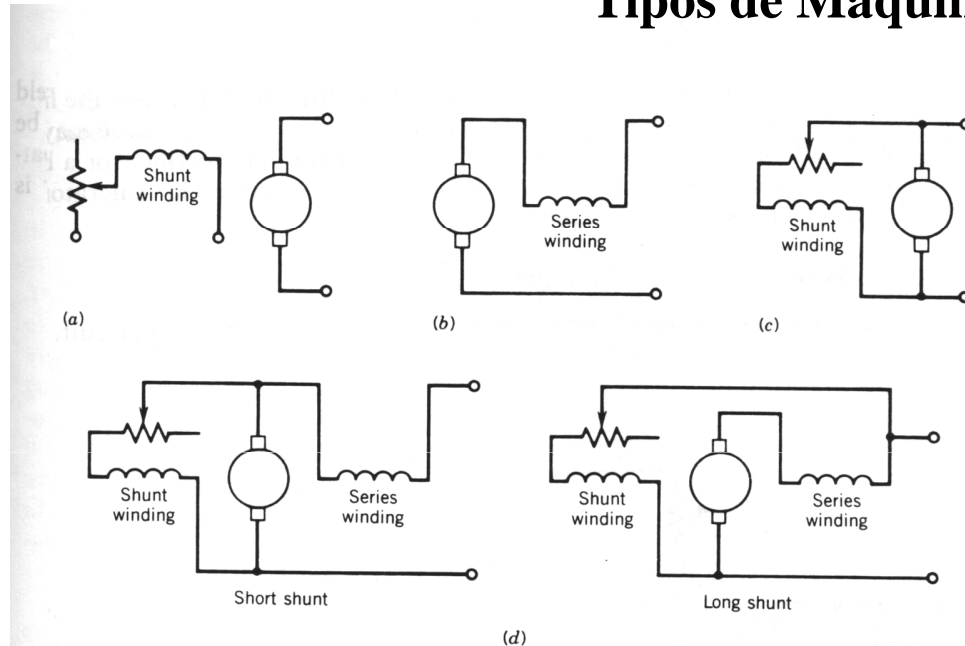
Conjugado Eletromagnético:

$$f_c = B(\theta).l.i_c \rightarrow T_c = f_c.r \quad \& \quad I_a = i_c.a$$

$$\overline{T_c} = \overline{f_c}.r = \overline{B(\theta)}.l.\frac{I_a}{a}.r = \frac{\Phi.P.I_a}{2\pi a}$$

$$\overline{T_e} = \overline{T_c}.2.N = \frac{NP}{\pi.a}.\Phi.I_a \Rightarrow \overline{T_e} = K_a.\Phi.I_a$$

Tipos de Máquinas C.C.



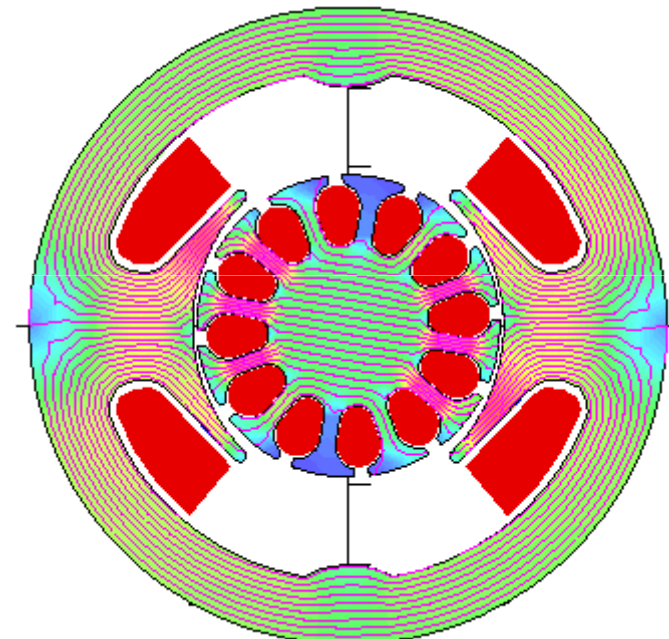
- **Maq. Excitação Independente**
- **Máq. Excitação Derivação**
- **Máq. Excitação Série**
- **Maq. Excitação Composta**

Aplicações:

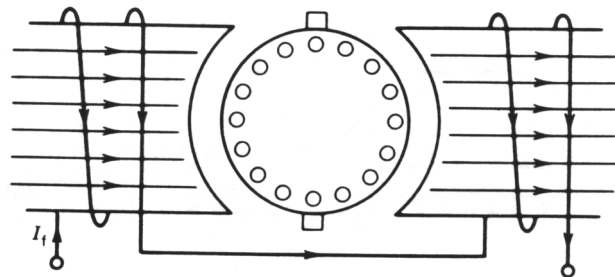
- Motor em acionamentos de alto desempenho: laminadores, elevadores, máquinas ferramentas, etc.
- Geradores em aplicações específicas:
 - Geração em automóveis e aviões;
 - Sistemas de Excitação para geradores síncronas;
 - Tacogeradores, etc.

Reação de Armadura em Máquinas C.C.

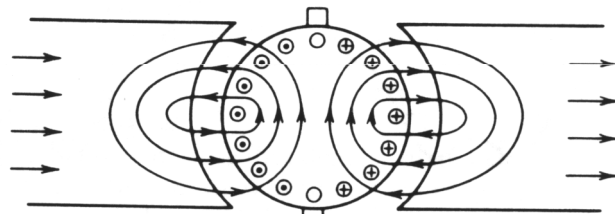
- Apesar dos campos de armadura e da bobina de excitação estarem com eixos magnéticos defasados de 90° , existe um acoplamento magnético devido a distribuição espacial destes campos;
- Há um aumento de densidade de fluxo em um lado da sapata polar e um decréscimo no lado oposto da mesma;
- Consequências:
 - Desalinhamento da linha neutra.
 - Distorção da onda de distribuição espacial dos campos;
- Problemas:
 - Faiscamento entre escova e lâminas (tensão induzida na bobina em comutação);
 - Redução do fluxo médio polar;
 - Possibilidade de “flashover” entre lâminas.



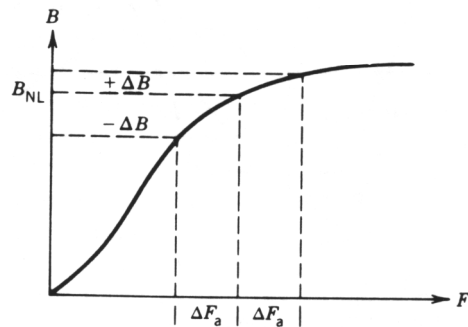
Reação de Armadura em Máquinas C.C.



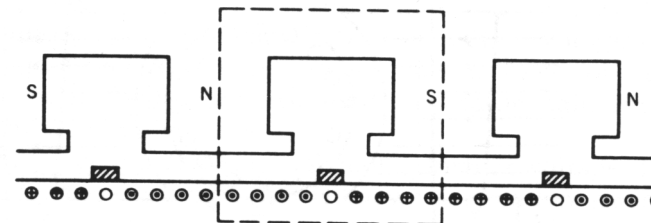
(a)



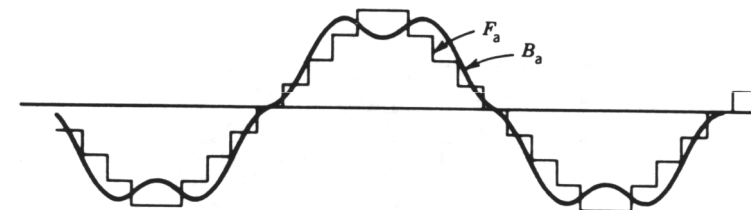
(b)



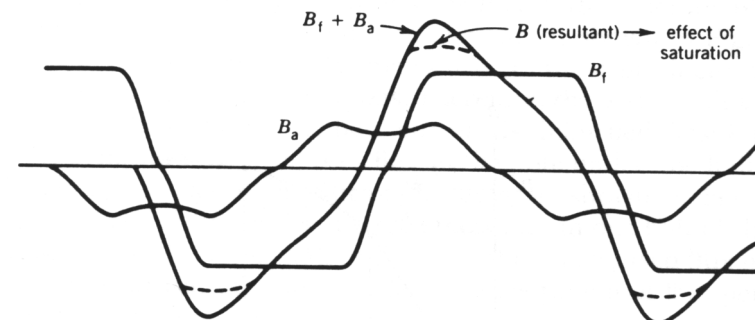
(c)



(a)



(b)

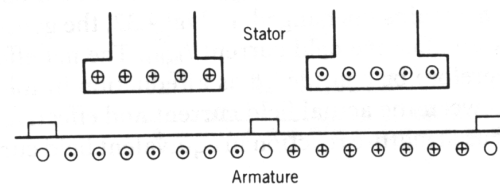


(c)

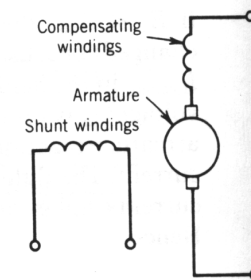
Reação de Armadura em Máquinas C.C.

Soluções Tecnológicas Utilizadas:

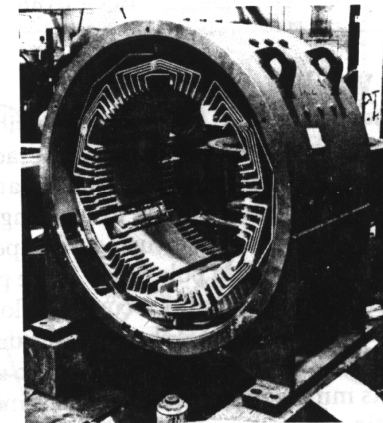
- Enrolamento de comutação ou interpolos:
 - Minimizar faiscamento através do alinhamento automático da linha neutra;
- Enrolamento de compensação:
 - Minimizar a distorção de fluxo e suas consequências;
- Atuações no processo de comutação:
 - Defasamento de escovas;
 - Linha neutra;
 - Material das escovas;
- Efeitos da alimentação por conversores estáticos



(a)

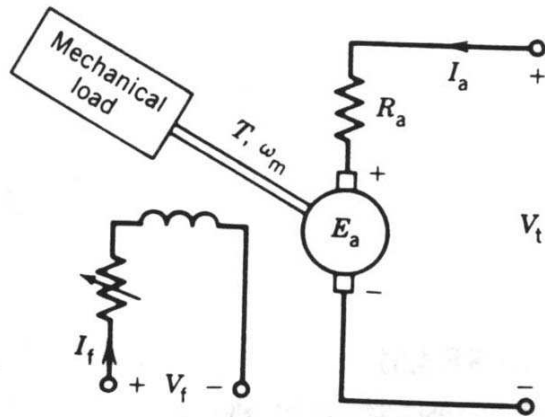


(b)



(c)

Motor Excitação Independente

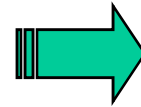


- Duas fontes independentes para campo e armadura;
- Equivalente ao motor derivação se fonte de armadura for de impedância interna desprezível;

$$V_a = E_a + R_a \cdot I_a \quad \Rightarrow \quad E_a = K_a \cdot \Phi \cdot \omega_r$$

$$V_f = R_{fw} \cdot I_f \quad \Rightarrow \quad \Phi = f\{I_f\}$$

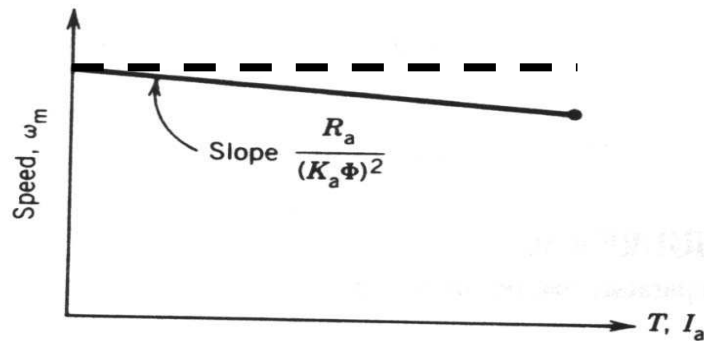
$$T_e = K_a \cdot \Phi \cdot I_a \quad \Rightarrow \quad I_a = \frac{T_e}{K_a \cdot \Phi}$$



$$\omega_r = \frac{V_a}{K_a \cdot \Phi} - \frac{R_a}{[K_a \cdot \Phi]^2} T_e$$

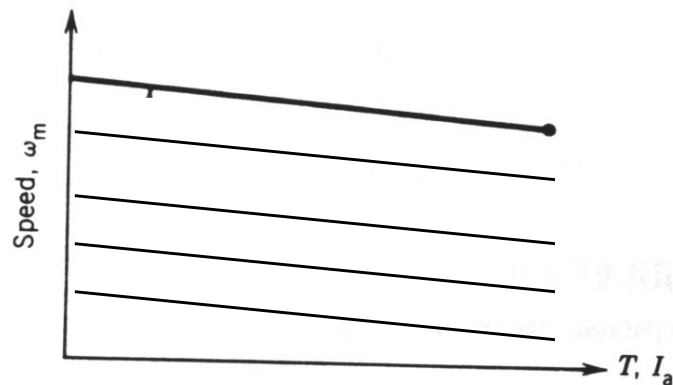
$$\omega_o = \frac{V_a}{K_a \cdot \Phi} \quad \Rightarrow \quad \text{velocidade básica}$$

Motor Excitação Independente

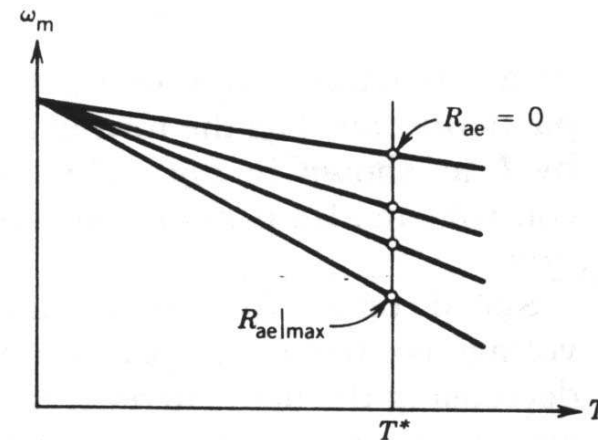


Características:

- Queda de velocidade devido a perda na resistência de armadura



Tensão de armadura variável



Resistência de armadura variável

Métodos de Partida e Frenagem de Motores C.C.

Crítérios de Partida/Frenagem:

- Reduzir níveis de corrente na partida/frenagem evitando perturbações no sistema elétrico;
- Garantir rapidez nos processos de partida/frenagem (produtividade);
- Conservação de energia: eficiência

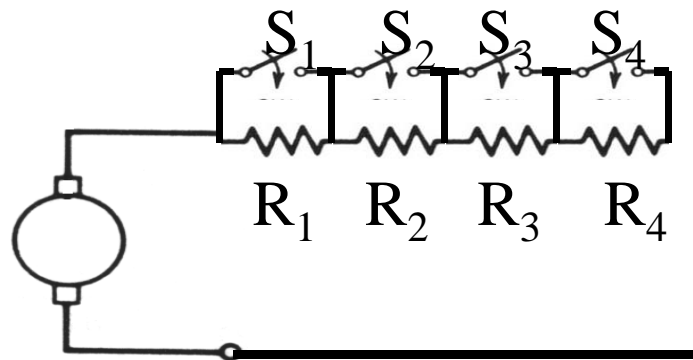
Métodos de Partida:

- Partida Resistiva : inclusão de resistências na armadura
- Partida a Tensão de Armadura Variável

Métodos de Frenagem:

- Frenagem Dinâmica: inclusão de resistências na armadura
- Frenagem por Contra-corrente: inversão da fonte de alimentação
- Frenagem Regenerativa: a tensão de armadura variável

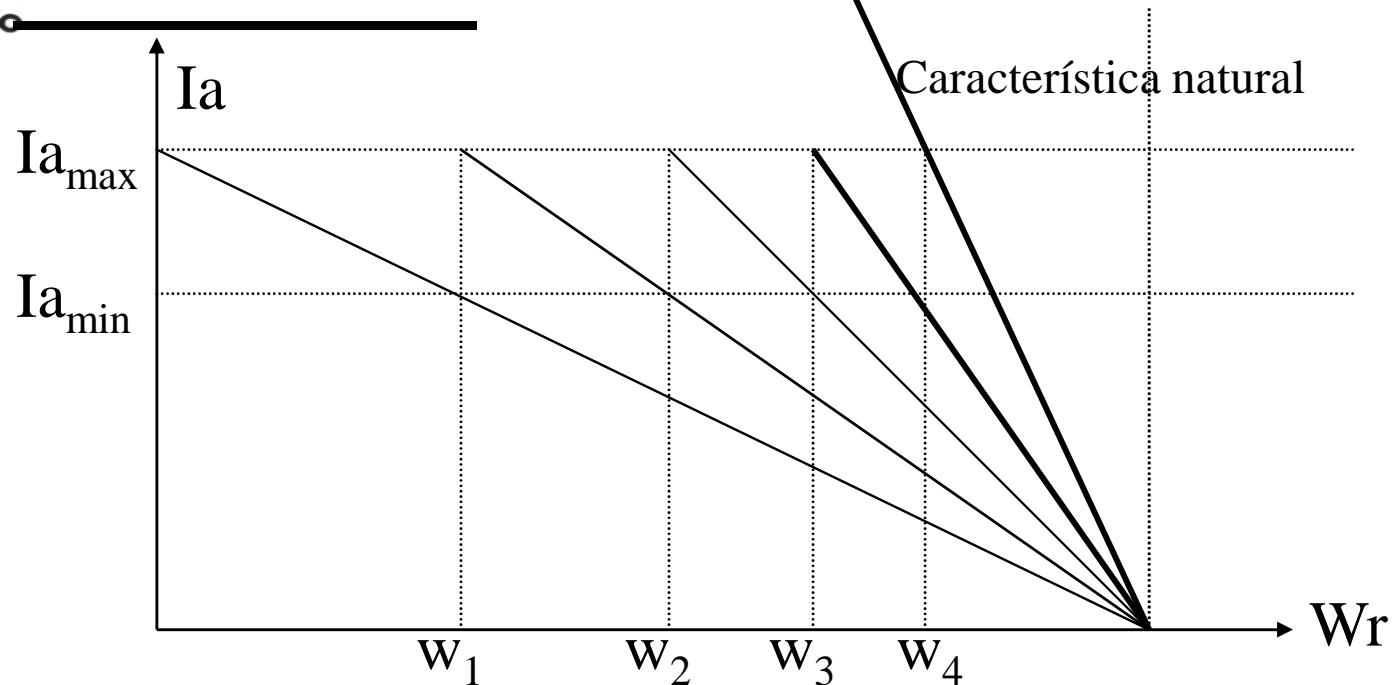
Partida Resistiva de Motores C.C.



Observação:

A partida sempre é feita com campo pré-excitado em seu valor máximo

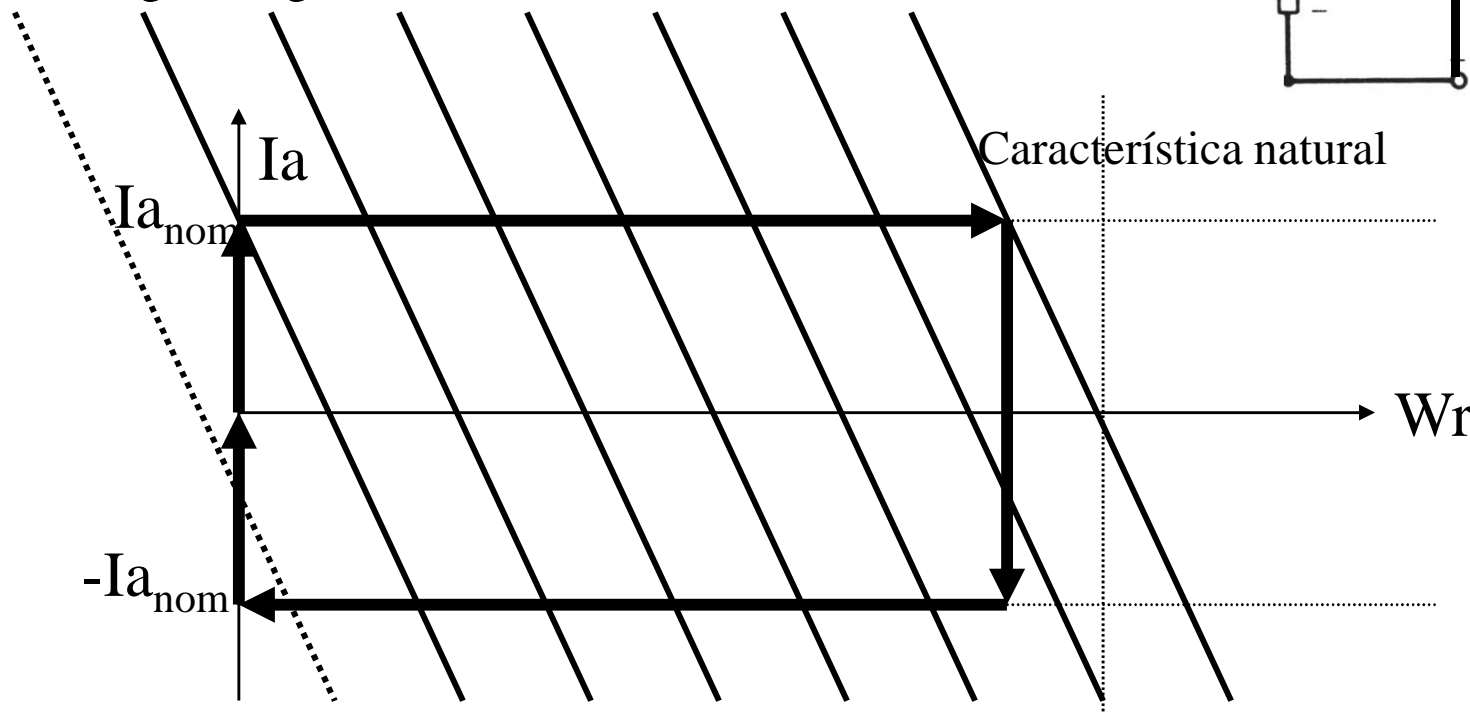
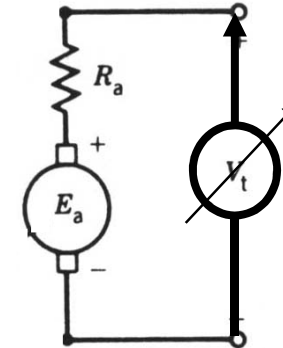
$$\omega_r = \frac{V_{\text{anom}}}{K_a \cdot \Phi_{\text{nom}}} - \frac{[R_a + R]}{[K_a \cdot \Phi_{\text{nom}}]} I_a$$



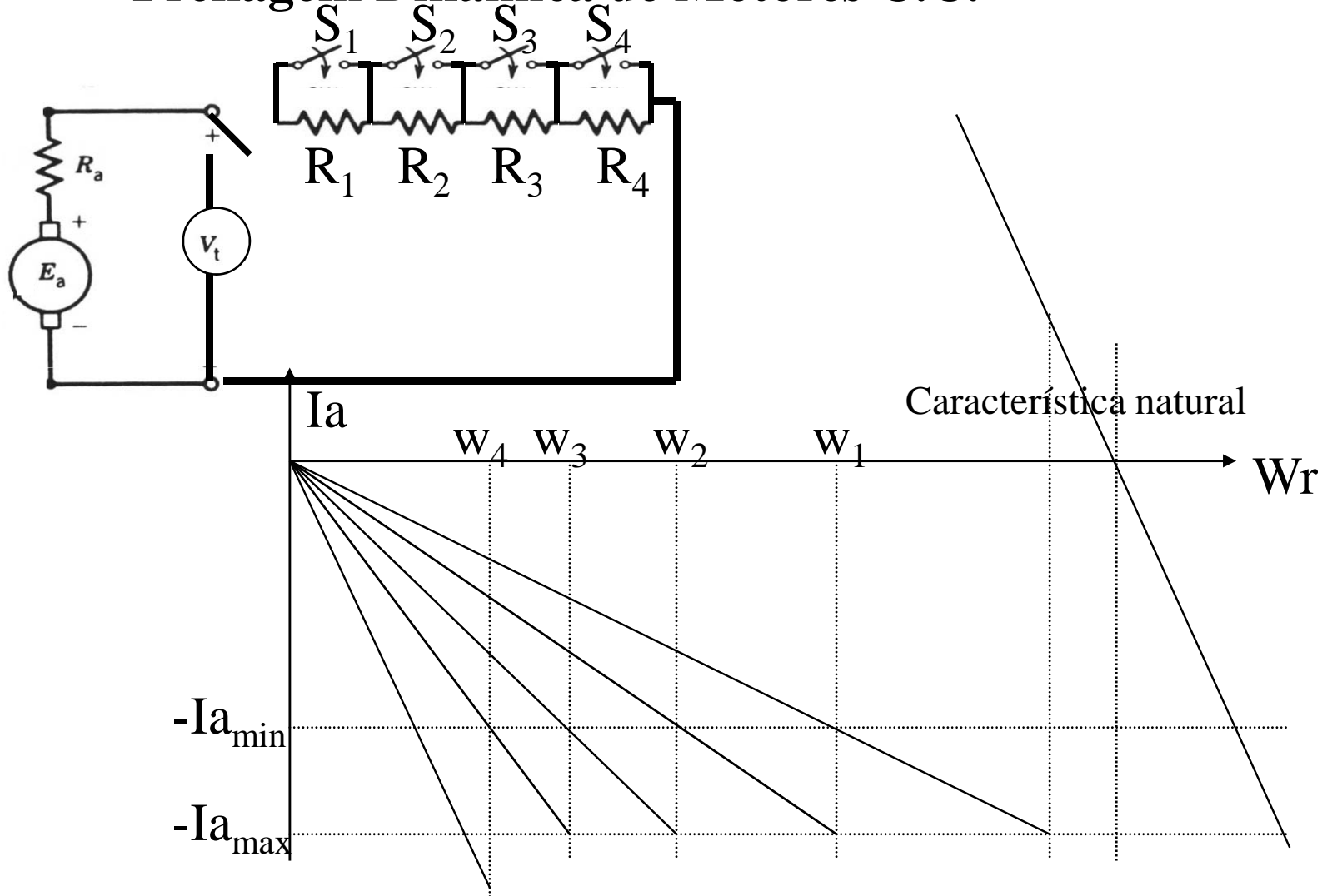
Métodos de Partida e Frenagem a Tensão Variável

Características:

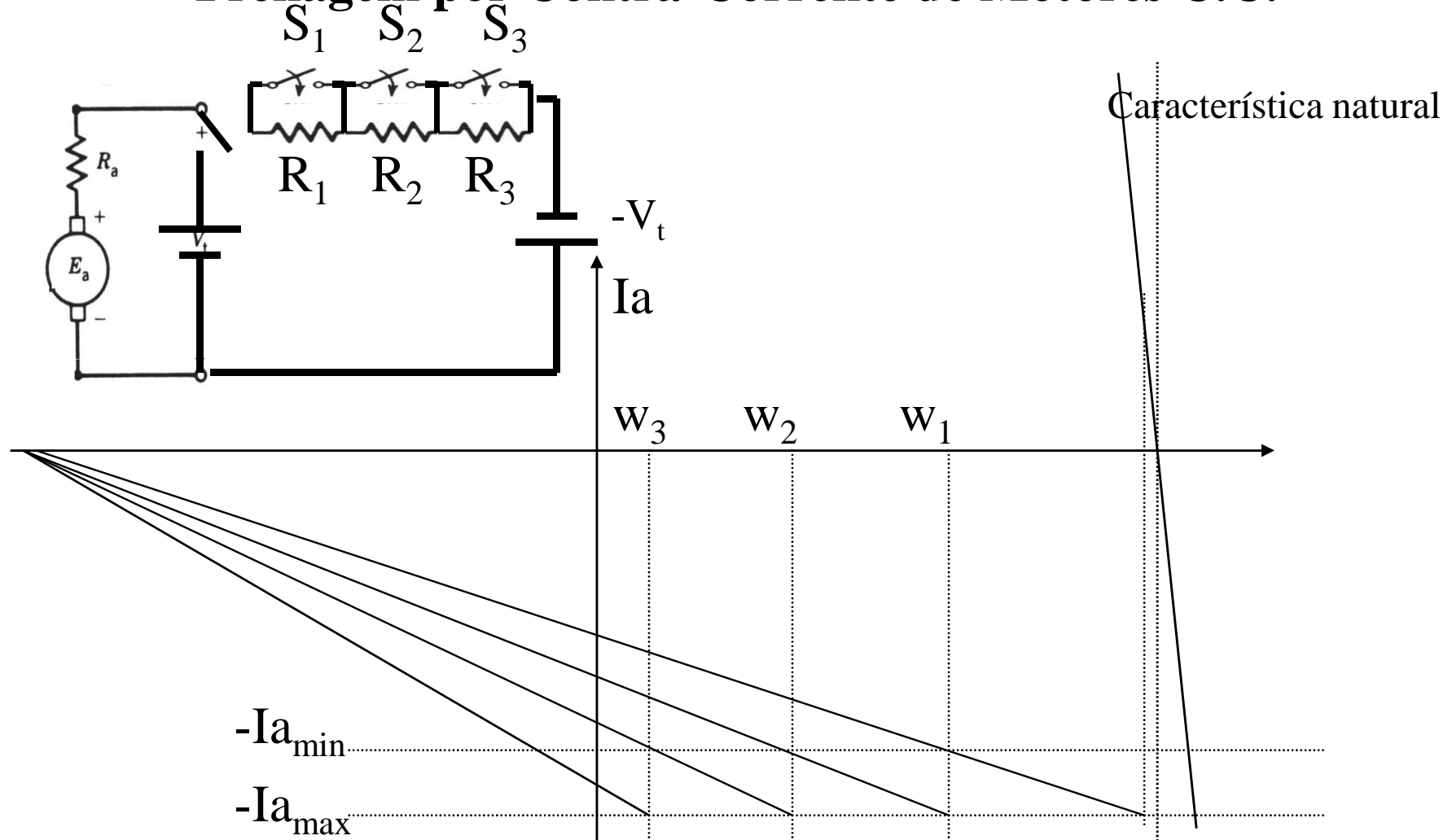
- Partida e frenagem a corrente constante;
- Pressupõe o uso de conversores estáticos;
- Frenagem regenerativa



Frenagem Dinâmica de Motores C.C.



Frenagem por Contra-Corrente de Motores C.C.






Métodos de Variação de Velocidade de Motores C.C.

Figuras de Mérito:

- Garantir capacidade de conjugado;
- Ampla faixa de variação de velocidade (adequação ao processo);
- Conservação de energia: eficiência

$$\omega_r = \frac{V_a}{K_a \cdot \Phi} - \frac{[R_a + R]}{[K_a \cdot \Phi]} I_a$$

Métodos de Variação de Velocidade:

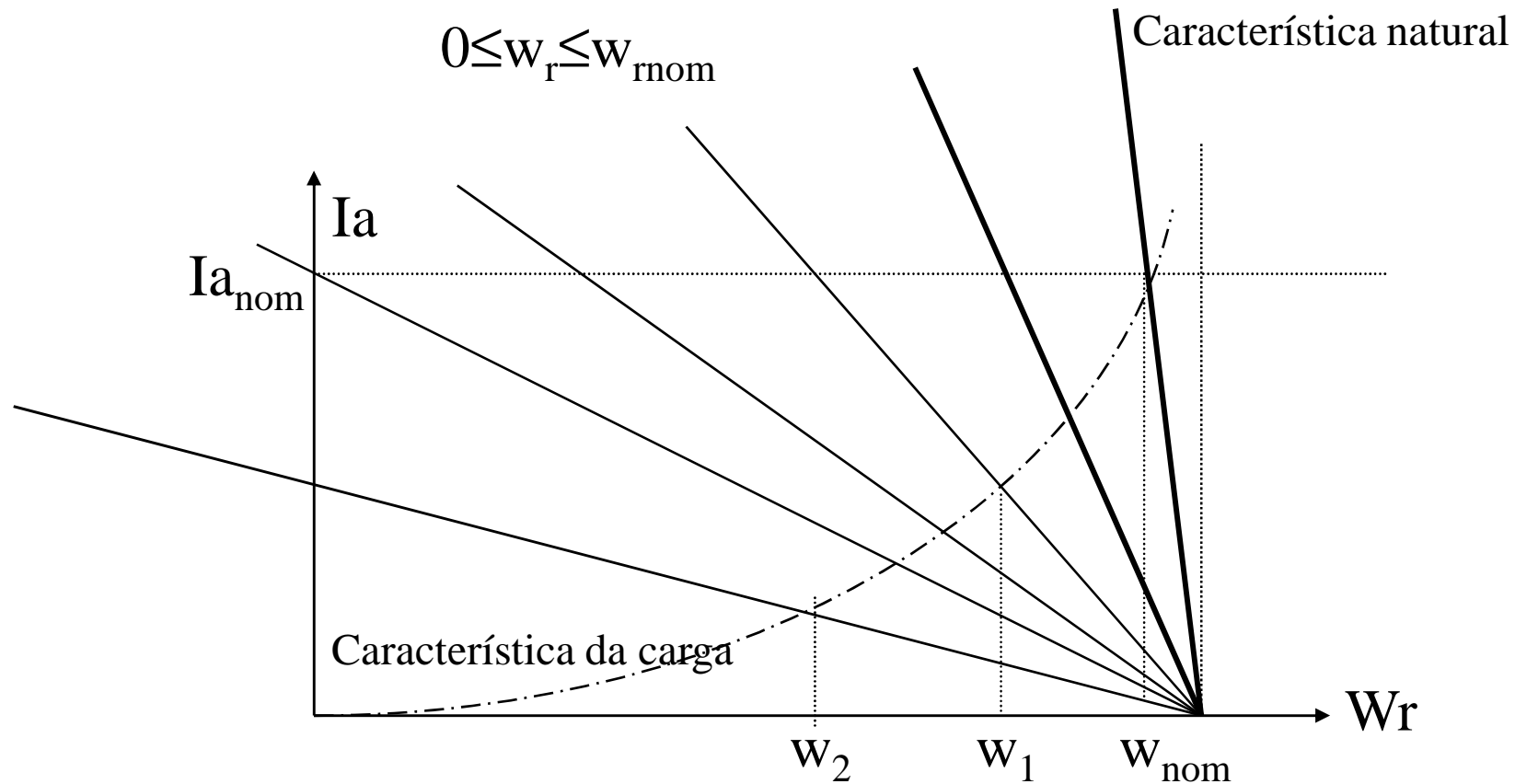
- Variação de Resistência de Armadura  R
- Variação de Tensão de Armadura  V_a
- Variação de Tensão de Campo  Φ

Variação da Resistência de Armadura

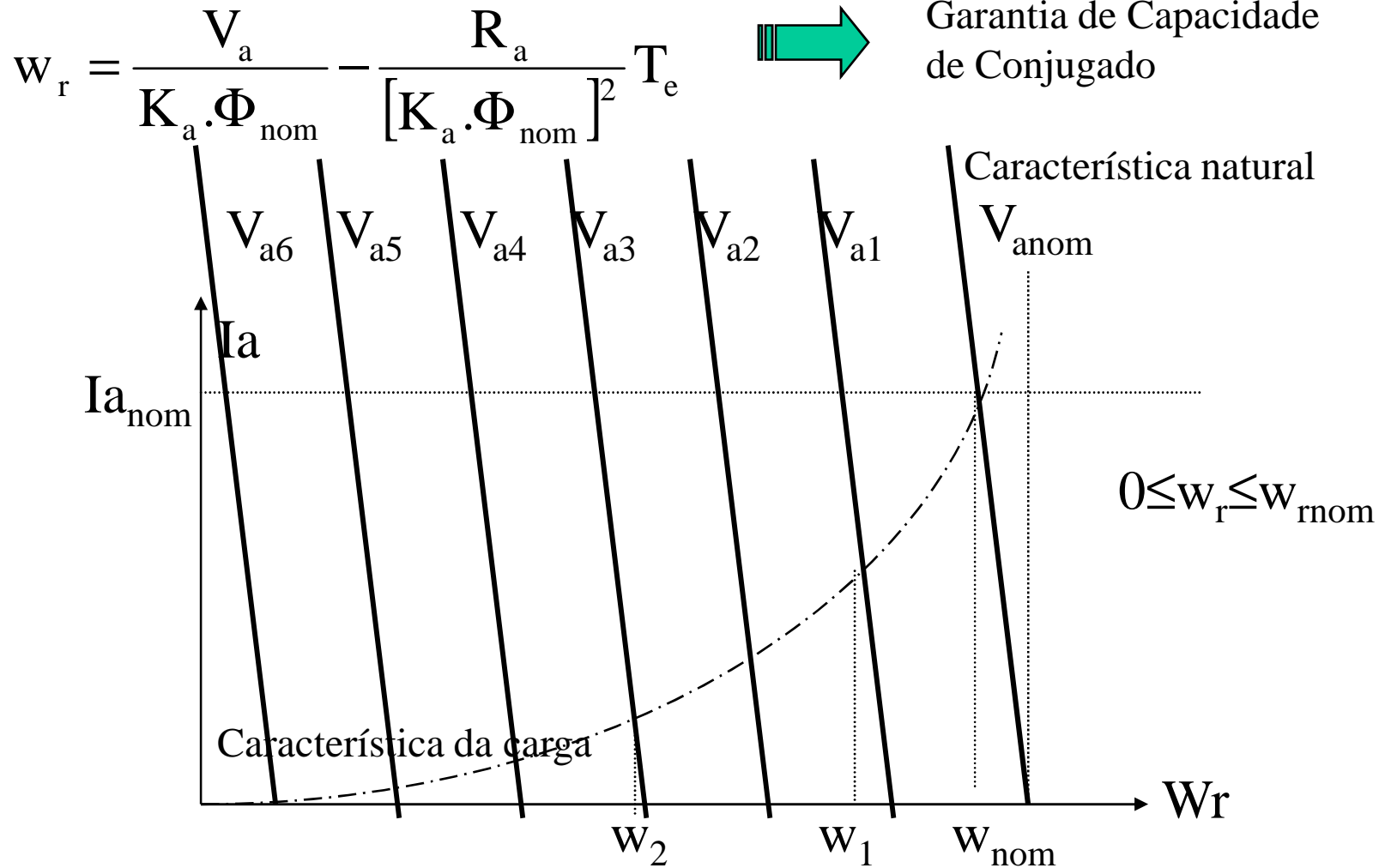
$$w_r = \frac{V_{anom}}{K_a \cdot \Phi_{nom}} - \frac{[R_a + R]}{[K_a \cdot \Phi_{nom}]^2} T_e$$



- Perda da capacidade de conjugado
- Perda de energia

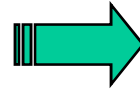


Variação da Tensão de Armadura

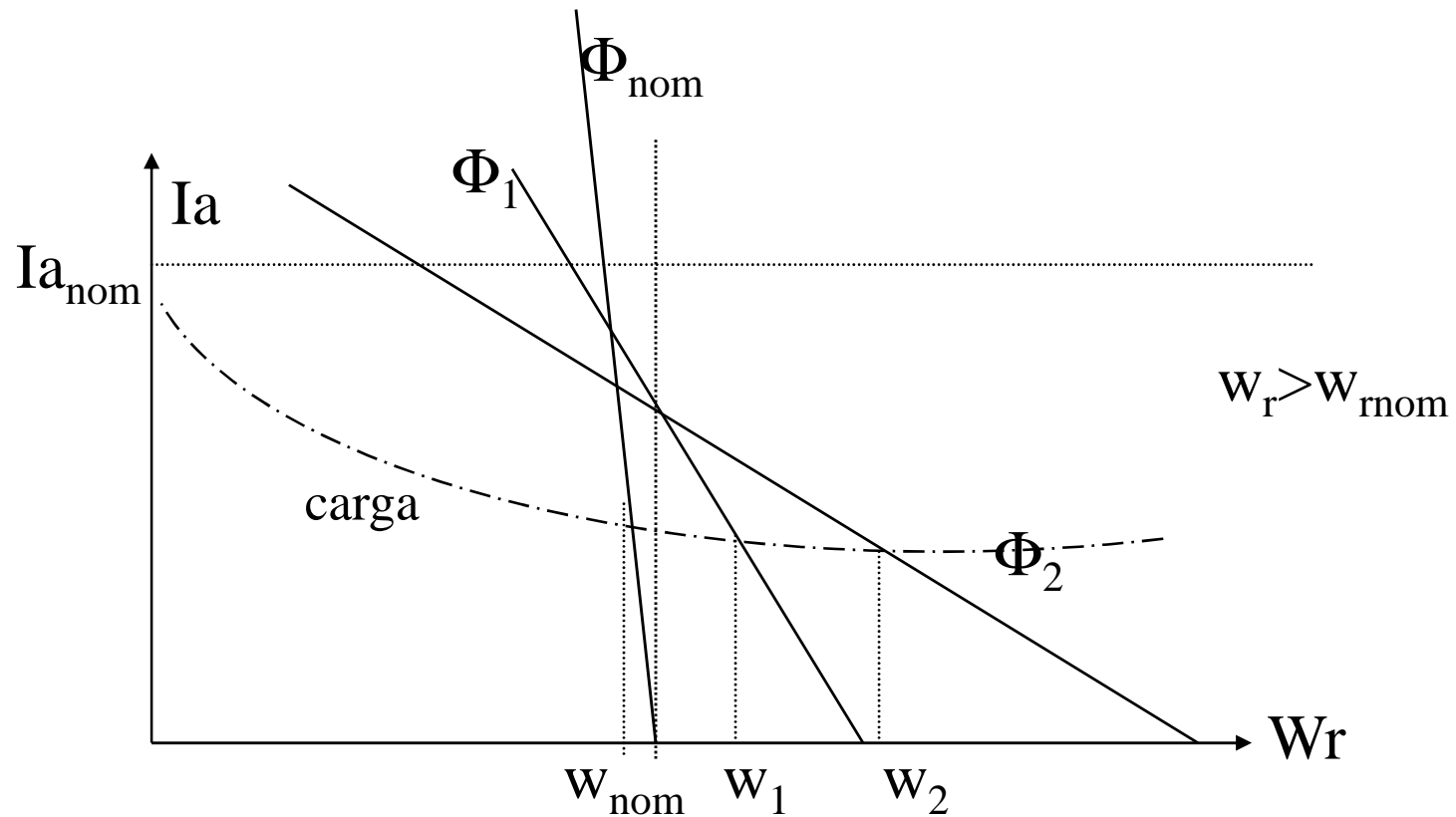


Variação da Tensão de Campo

$$W_r = \frac{V_{anom}}{K_a \cdot \Phi} - \frac{R_a}{[K_a \cdot \Phi]^2} T_e$$



- Enfraquecimento de campo
- Limitado pela reação de armadura



Operação a Conjugado Constante e Potência Constante

Características:

- Limite Térmico: $I_a = \text{constante}$
- Limites Eléctricos: $V_a = \text{constante}$

Conjugado Constante:

$0 \leq w_r \leq w_{rnom}$: fluxo constante
 V_a variável

Potência Constante:

$w_r > w_{rnom}$: fluxo variável
 V_a constante

