

PROCESSOS DE FABRICAÇÃO III SOLDAGEM

FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO



Professor: Moisés Luiz Lagares Júnior

FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Tocha MIG/MAG TMCE-220

Descrição	Código	Descrição	Código	Descrição	Código
Tocha TMCE-220:3mts	CB-3002	Tocha TMCE-220:4mts	CB-3003	Tocha TMCE-220:5mts	CB-3004

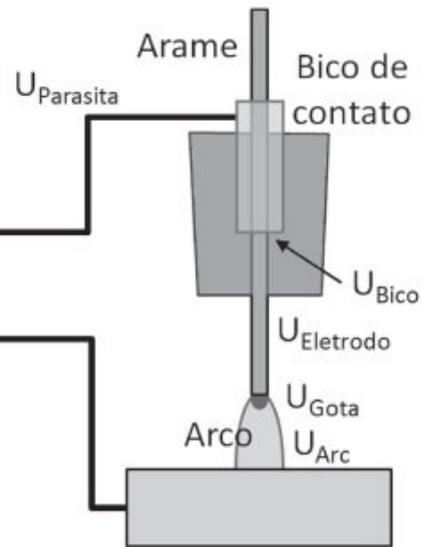
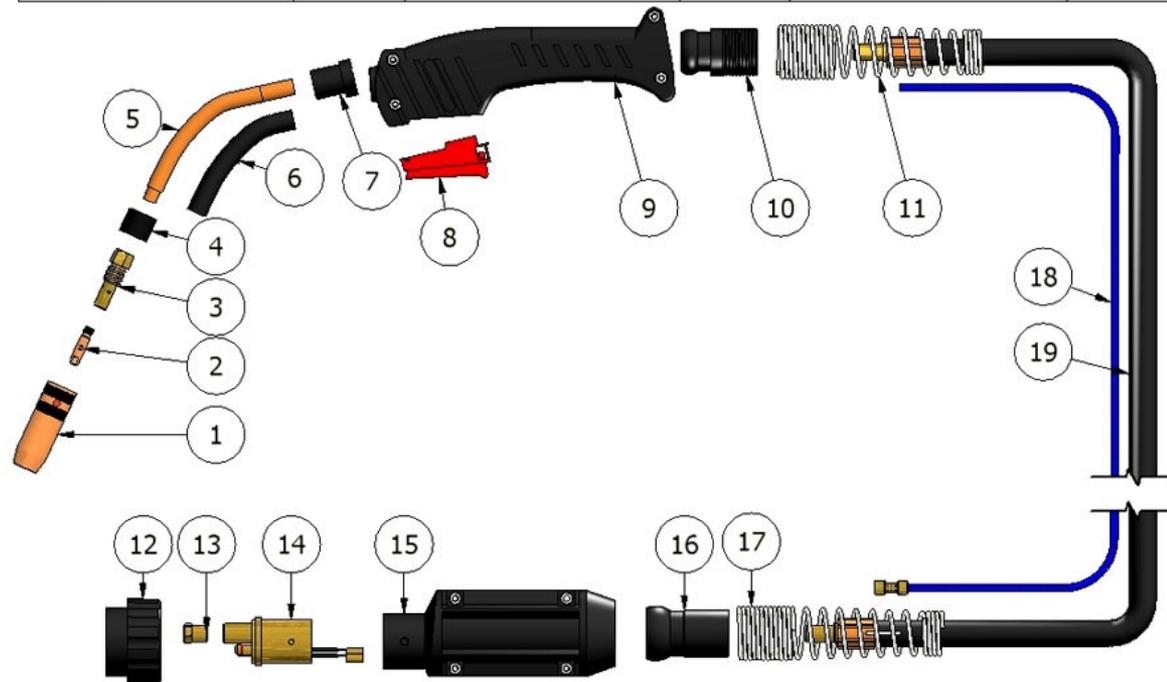


Figura 1. Quedas de tensão elétrica ao longo do circuito de soldagem.

FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Duas parcelas de calor são responsáveis pelo consumo do arame-eletrodo:

- Calor gerado na conexão anódica (ou catódica)
- Calor gerado ao longo do comprimento energizado do arame

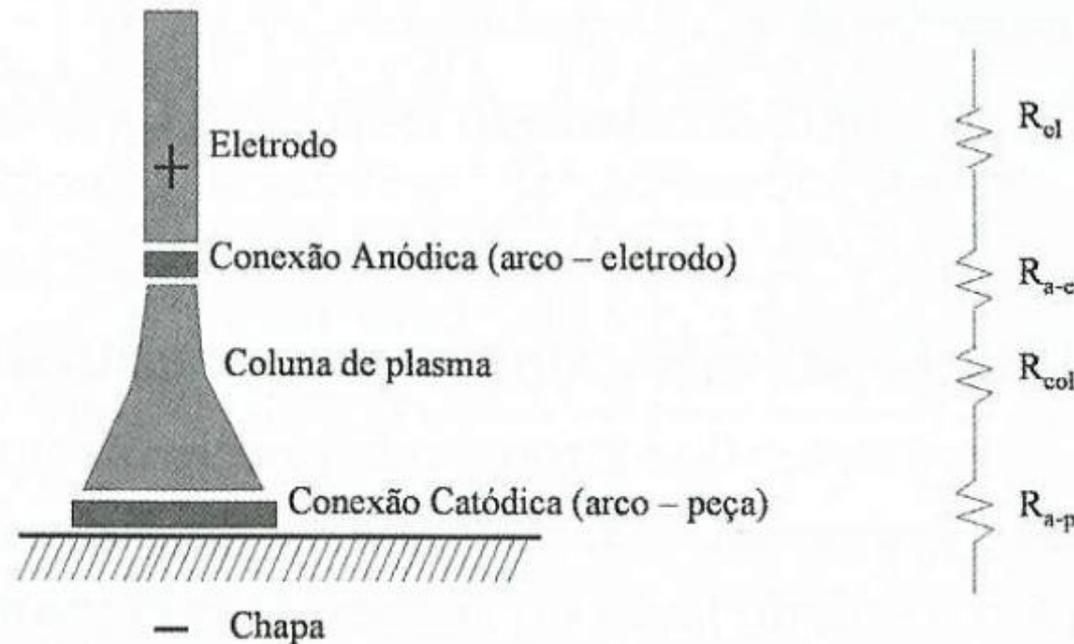


Figura 1.54 – Representação esquemática da analogia de um arco com um circuito resistivo em série

FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Supondo resistências ôhmicas:

$$P = Q = R_{a-el} \cdot I_s^2 + R_{el} \cdot I_s^2$$

P – Potência elétrica consumida

Q – Calor gerado por unidade de tempo

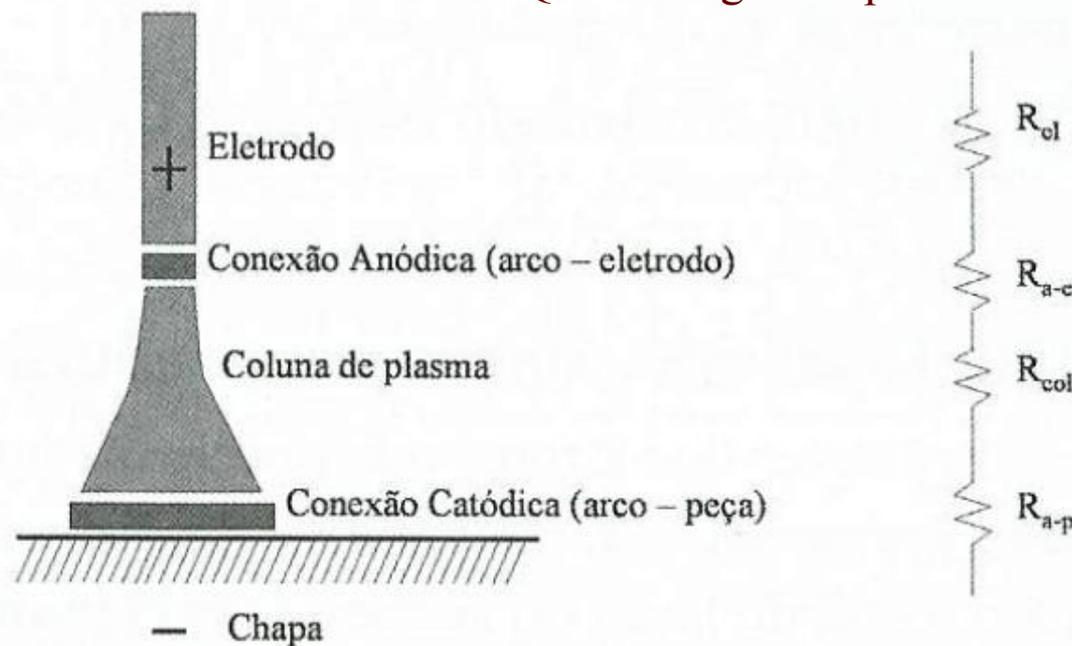


Figura 1.54 – Representação esquemática da analogia de um arco com um circuito resistivo em série

FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

$$P = U \cdot I$$

$$\text{Volts} \quad \times \quad \text{Amperes} \quad =$$

$$\frac{\text{joules}}{\text{Coulombs}} \quad \times \quad \frac{\text{coulombs}}{\text{segundos}} \quad =$$

$$P = \frac{\text{joules}}{\text{segundos}} = \text{watts}$$

Supondo resistências ôhmicas:

$$P = U \cdot I = (R \cdot I) \cdot I = R_{a-el} \cdot I_s^2 + R_{el} \cdot I_s^2$$

FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Por outro lado, experimentalmente:

$$C = \alpha \cdot I_s + \beta \cdot L_{el} \cdot I_s^2$$

- C – Consumo (taxa de fusão do arame-eletrodo)

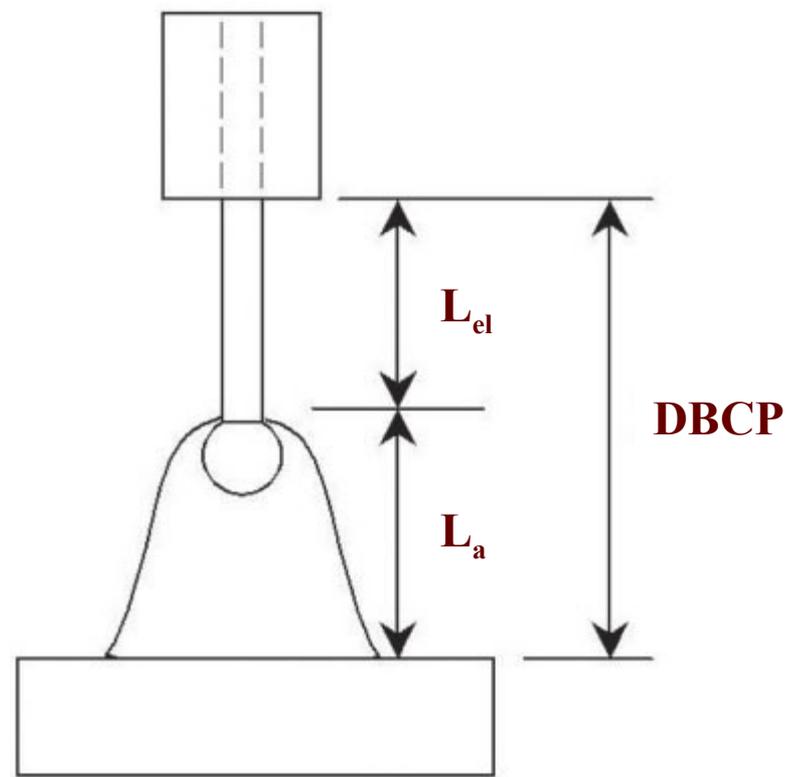
FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

$$P = R_{a-el} \cdot I_s^2 + R_{el} \cdot I_s^2$$

$$C = \alpha \cdot I_s + \beta \cdot L_{el} \cdot I_s^2$$

- Soldagens com arames de grande diâmetro, comprimento de eletrodo curto e/ou arames com baixa resistividade elétrica (ligas de alumínio), β assume valores muito baixos



FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Qualquer que seja a abordagem, a equação usada na literatura é simplificada. Nas soldagens reais, pode-se usar corrente contínua ou alternada, mas mesmo o valor da corrente contínua ao longo do tempo não é sempre uniforme, devido aos transientes no arco (sinal contínuo com oscilações). Considere-se, então, uma onda de corrente contínua não constante. O consumo médio (\bar{C}) pode ser calculado pela integração do consumo ao longo do tempo:

$$\bar{C} = \frac{1}{T} \int_0^T C dt \quad (1.4)$$

Onde T representa o período de tempo. Substituindo a Equação 1.3 na Equação 1.4 e extraindo-se as constantes da integral, tem-se:

$$\frac{1}{T} \int_0^T (\alpha i + \beta L_{el} i^2) dt \Rightarrow \alpha \frac{1}{T} \int_0^T i dt + \beta L_{el} \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt \quad (1.5)$$

Onde i representa o valor instantâneo da corrente.

FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Valor médio

Para uma função periódica contínua, o valor médio pode ser dado por:

$$V_{\text{med}} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_i}^{t_f} v(t) \cdot dt$$

Para uma função periódica senoidal, o valor médio é:

$$V_{\text{med}} = \frac{V_p}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} \text{sen}(\omega t) \cdot d\omega t = \frac{V_p}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_0^{2\pi} = \frac{V_p}{2\pi} \cdot [-\cos(2\pi) + \cos(0)] = \frac{V_p}{2\pi} \cdot [-1 + 1] = 0$$

$$V_{\text{med}} = 0$$

Como a senóide é simétrica ao eixo das abscissas, para todos os valores do semiciclo positivo, temos correspondentes valores no semiciclo negativo, o que faz com que o seu valor médio seja nulo, ou seja, as áreas positivas são iguais às negativas.

FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

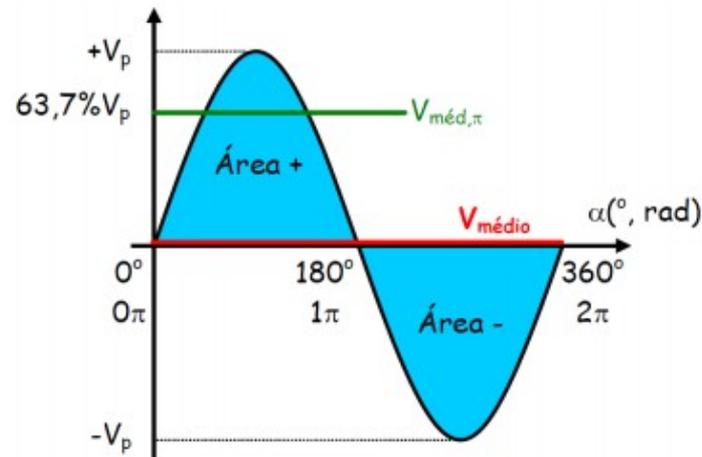
Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Valor médio

Pelo procedimento de cálculo podemos determinar o valor médio de apenas um **semicíclo** (meio período):

$$V_{\text{med},\pi} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T v(t) \cdot dt = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} V_p \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) \cdot d\omega t = \frac{V_p}{\pi} \cdot [-\cos(\omega t)]_0^{\pi} = \frac{2 \cdot V_p}{\pi}$$

$$V_{\text{med},\pi} = \frac{2 \cdot V_p}{\pi} = 0,637 \cdot V_p$$



FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Valor eficaz

Para uma função periódica, o valor eficaz pode ser dado pelo cálculo da média quadrática através do uso da integral:

$$V_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t_i}^{t_f} v(t)^2 \cdot dt}$$

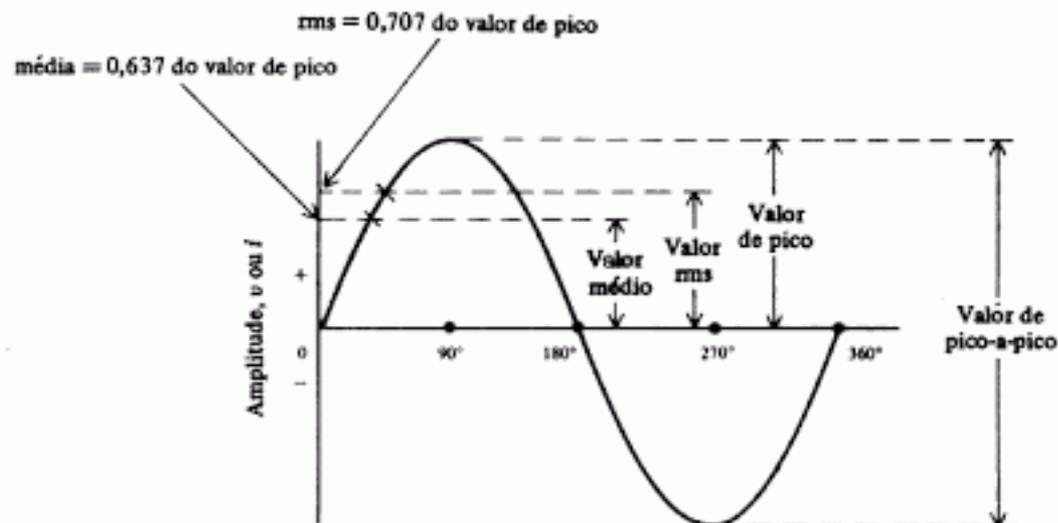
Para a função periódica senoidal, o valor eficaz é:

$$\begin{aligned} V_{\text{ef}} &= \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t_i}^{t_f} v(t)^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{\omega T} \cdot \int_{\omega t_i}^{\omega t_f} v(\omega t)^2 \cdot d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_p^2 \cdot \text{sen}^2(\omega t) \cdot d\omega t} = \sqrt{\frac{V_p^2}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} \text{sen}^2(\omega t) \cdot d\omega t} = \\ &= \sqrt{\frac{V_p^2}{2\pi} \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\cos 2\omega t}{4} \right]_0^{2\pi}} = \sqrt{\frac{V_p^2}{2\pi} \left[\frac{2\pi}{2} - \frac{\cos 4\pi}{4} - \frac{0}{2} + \frac{\cos 0}{4} \right]} = \\ &= \sqrt{\frac{V_p^2}{2\pi} \left[\frac{2\pi}{2} \right]} = \sqrt{\frac{V_p^2}{2}} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

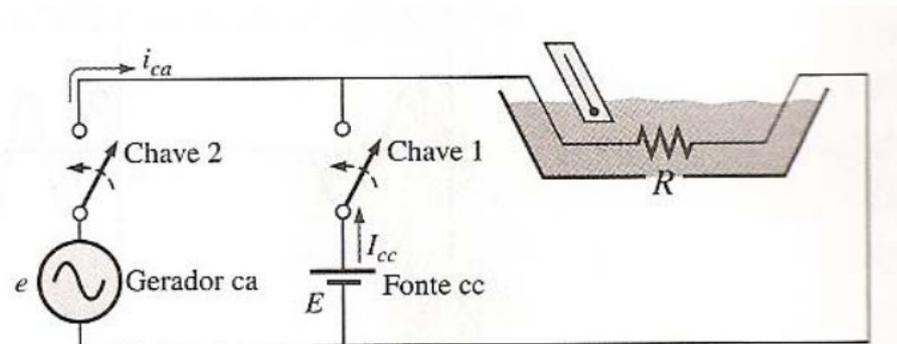
$$V_{\text{ef}} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM



Multímetros convencionais retificam a onda de entrada, calculam a média e corrigem o valor para o eficaz



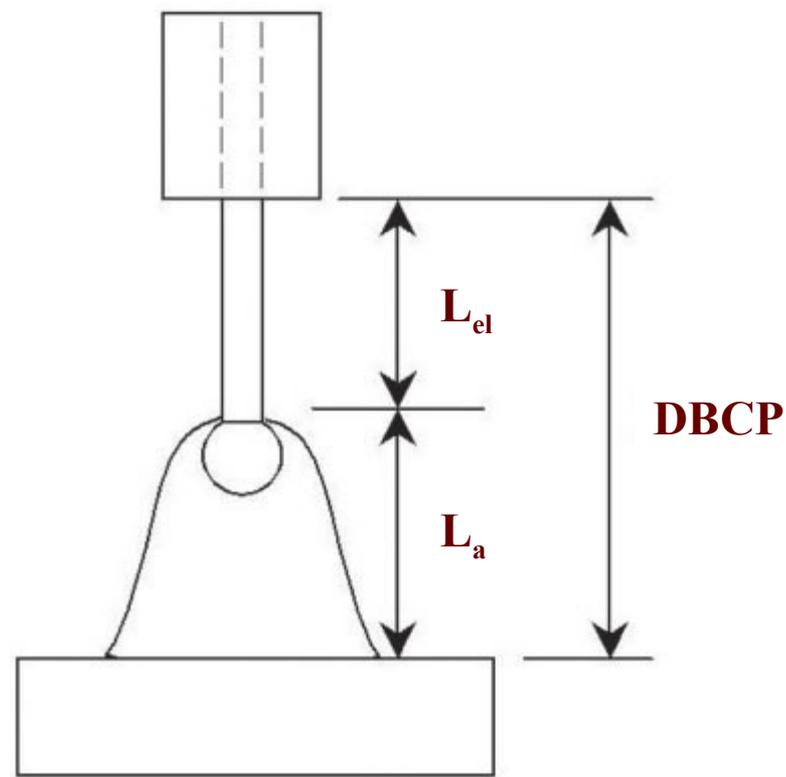
FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

$$C = \alpha \cdot I_s + \beta \cdot L_{el} \cdot I_s^2$$

$$C = \alpha \cdot I_m + \beta \cdot L_{el} \cdot I_{rms}^2$$

Melhor representação do consumo



FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

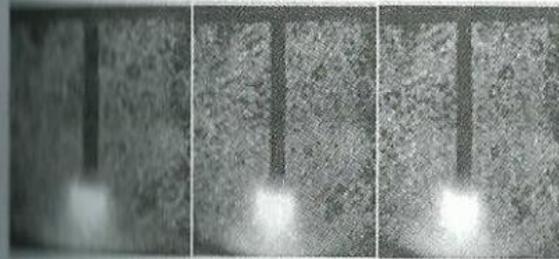
Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Tabela 1.4 – Influência da polaridade na taxa de fusão de eletrodo na soldagem MAG com CO_2 puro como gás de proteção, arame de aço-carbono com 2 mm de diâmetro e $DBCP = 15$ mm (extraído de Lenivkin *et al*, 1989)

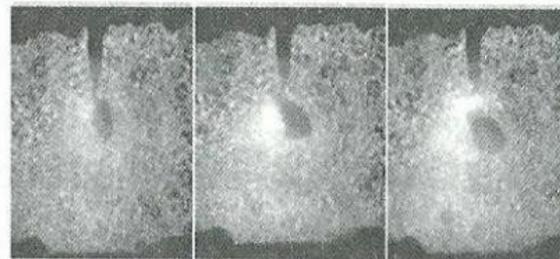
Teste	Polaridade de soldagem	Corrente de soldagem (A)	Velocidade de alimentação de arame (m/min)	Queda de tensão na conexão arco-eletrodo (V)
Teste 1	CC+	340	3	6,95 (anódica)
Teste 2	CC-	215	3	10,5 (catódica)
Teste 3	CC-	340	5,1	11,52 (catódica)

FUSÃO DE ARAME: CONSUMO E PRODUÇÃO

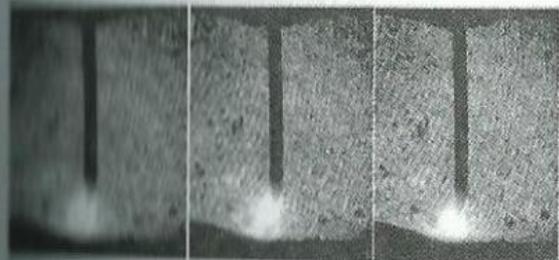
Processos de Fabricação III - SOLDAGEM



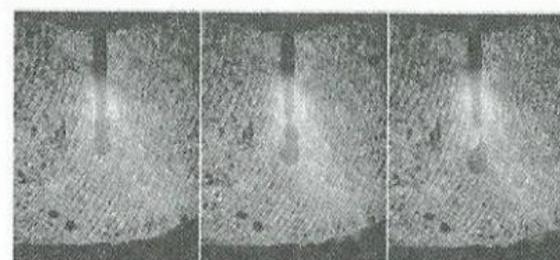
(a)



(b)



(c)



(d)

CONSUMO =
TAXA DE FUSÃO

PRODUÇÃO =
TAXA DE
DEPOSIÇÃO

Figura 1.55 – Ilustração de arcos (tempo entre cada quadro de 1 ms) de MIG/MAG com arame de aço carbono de 1,2 mm de diâmetro, $DBC_P = 20$ mm, $I_s = 250$ A (fonte corrente constante), mas polaridade invertida: (a) CC+, proteção Ar+18%CO₂, $U_a = 34,5$ V e $V_{alim} = 7$ m/min; (b) CC-, proteção Ar+18%CO₂, $U_a = 43,5$ V e $V_{alim} = 9,8$ m/min; (c) CC+, proteção Ar+2%O₂, $U_a = 28,5$ V e $V_{alim} = 7,2$ m/min; (d) CC-, proteção Ar+2%O₂, $U_a = 32,5$ V e $V_{alim} = 11,7$ m/min

AUTO-REGULAGEM DO COMPRIMENTO DO ARCO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

CONTROLE INTERNO/AUTOCONTROLE/CONTROLE PELA VELOCIDADE DE FUSÃO

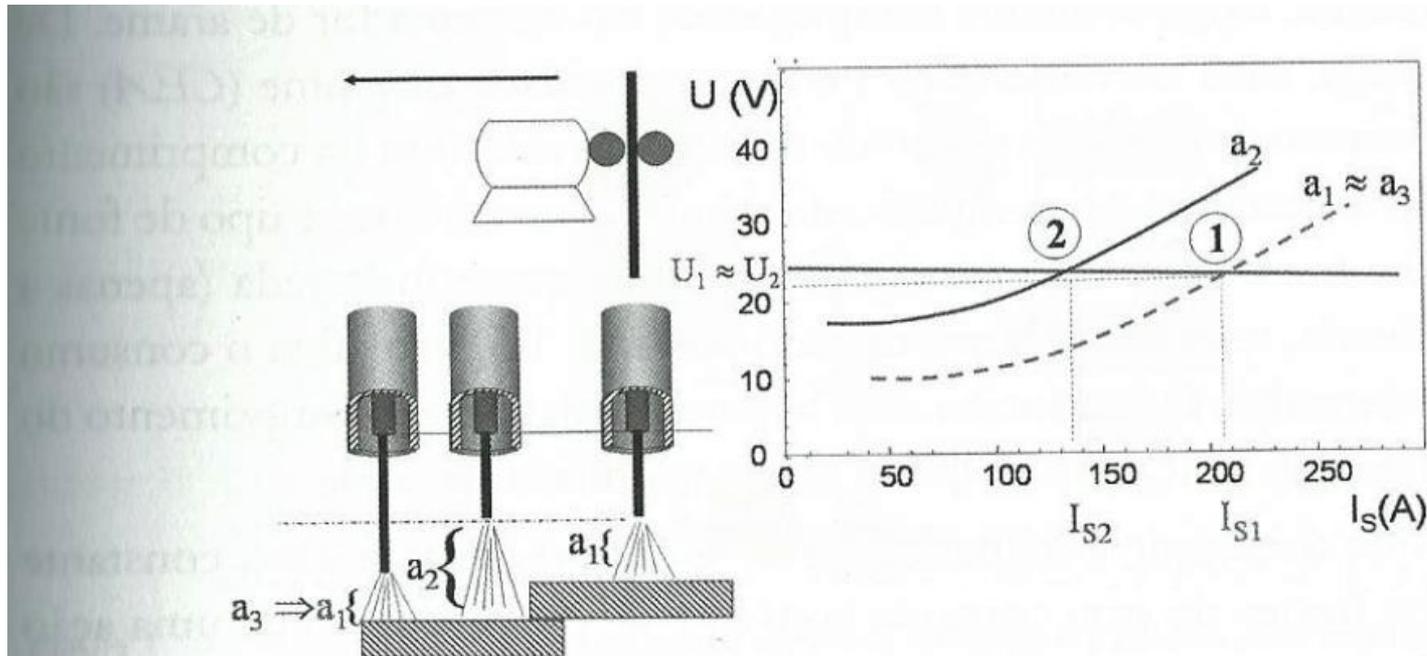


Figura 1.73 – Ilustração do fenômeno do controle interno de um processo de soldagem MIG/MAG

AUTO-REGULAGEM DO COMPRIMENTO DO ARCO

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

CONTROLE EXTERNO/CONTROLE PELA VELOCIDADE DE ALIMENTAÇÃO

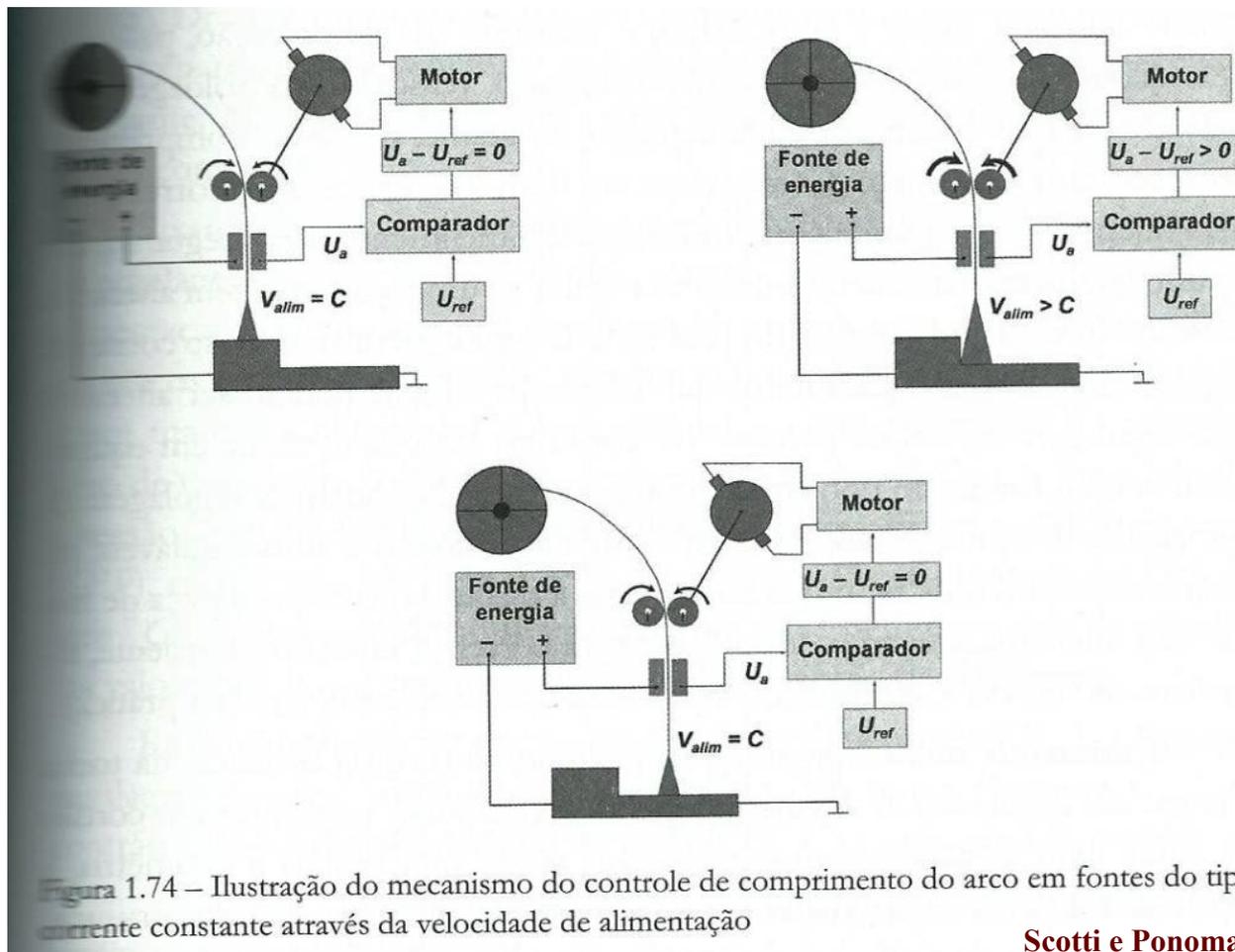


Figura 1.74 – Ilustração do mecanismo do controle de comprimento do arco em fontes do tipo corrente constante através da velocidade de alimentação

REGULAGEM DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Supondo uma fonte tipo tensão constante:

- Regulando um valor para tensão da fonte, o que foi definido?
- Regulando um valor para velocidade de alimentação, o que foi definido?
- Quais são os outros parâmetros de soldagem a serem definidos?

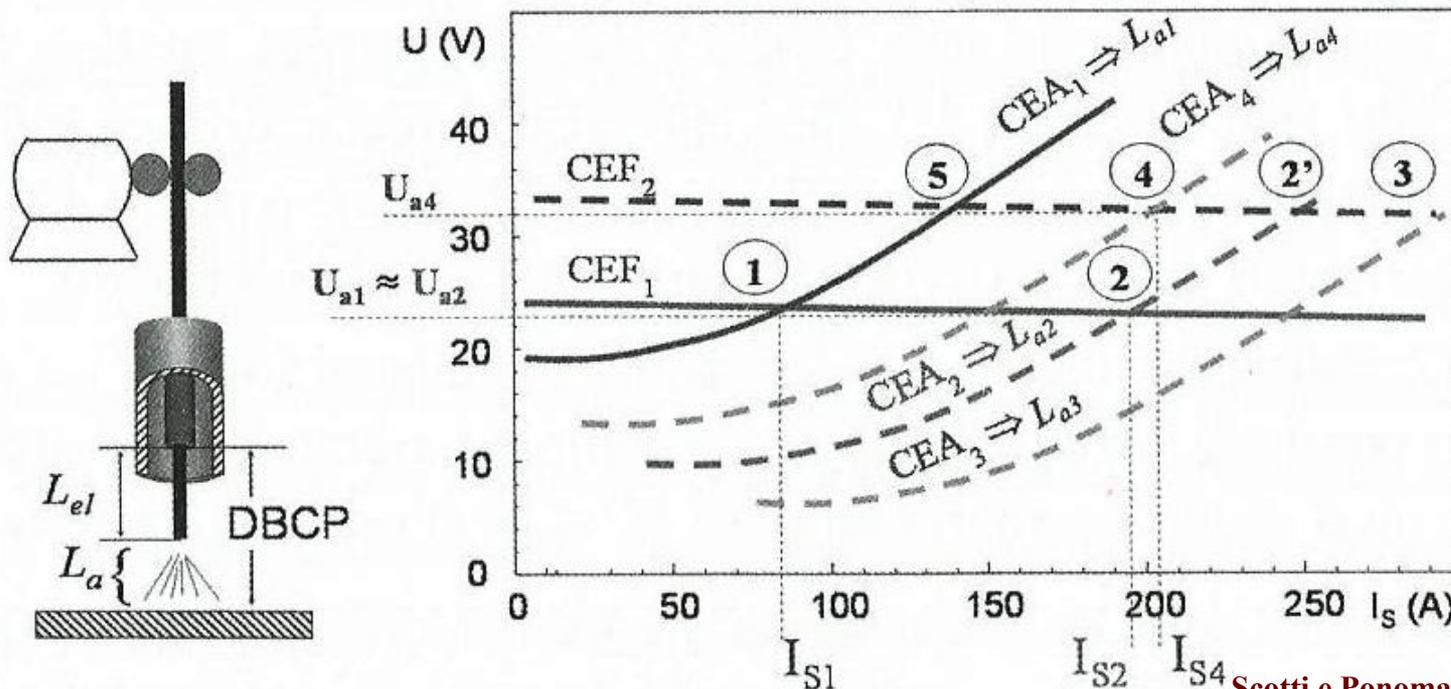


REGULAGEM DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

$$V_{alim} = C = \alpha \cdot I_s + \beta \cdot L_{el} \cdot I_s^2$$

- Fixados todos os outros parâmetros de soldagem (α e β constantes), foi determinado o **Ponto 1** que satisfaça a equação de consumo

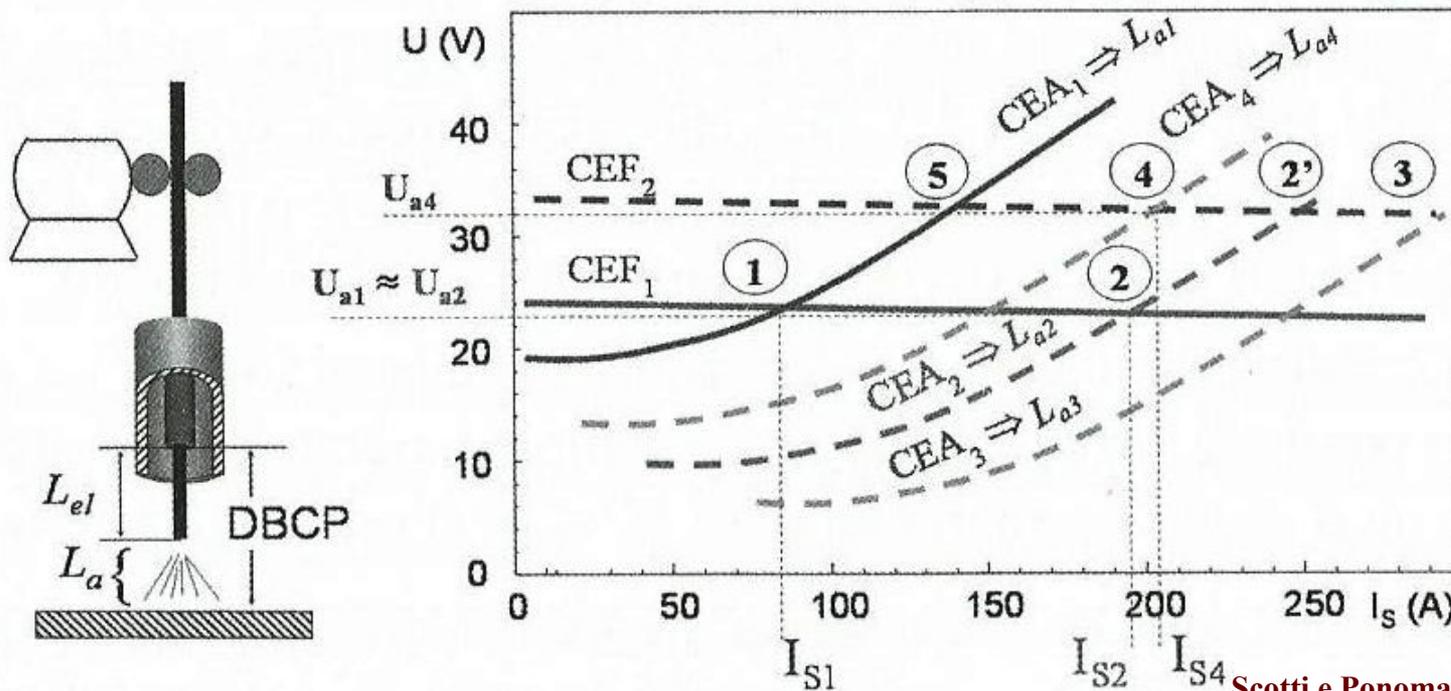


REGULAGEM DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

$$V_{alim} = C = \alpha \cdot I_s + \beta \cdot L_{el} \cdot I_s^2$$

- Fixada a regulagem de tensão, o que acontece se aumentarmos a V_{alim} ?

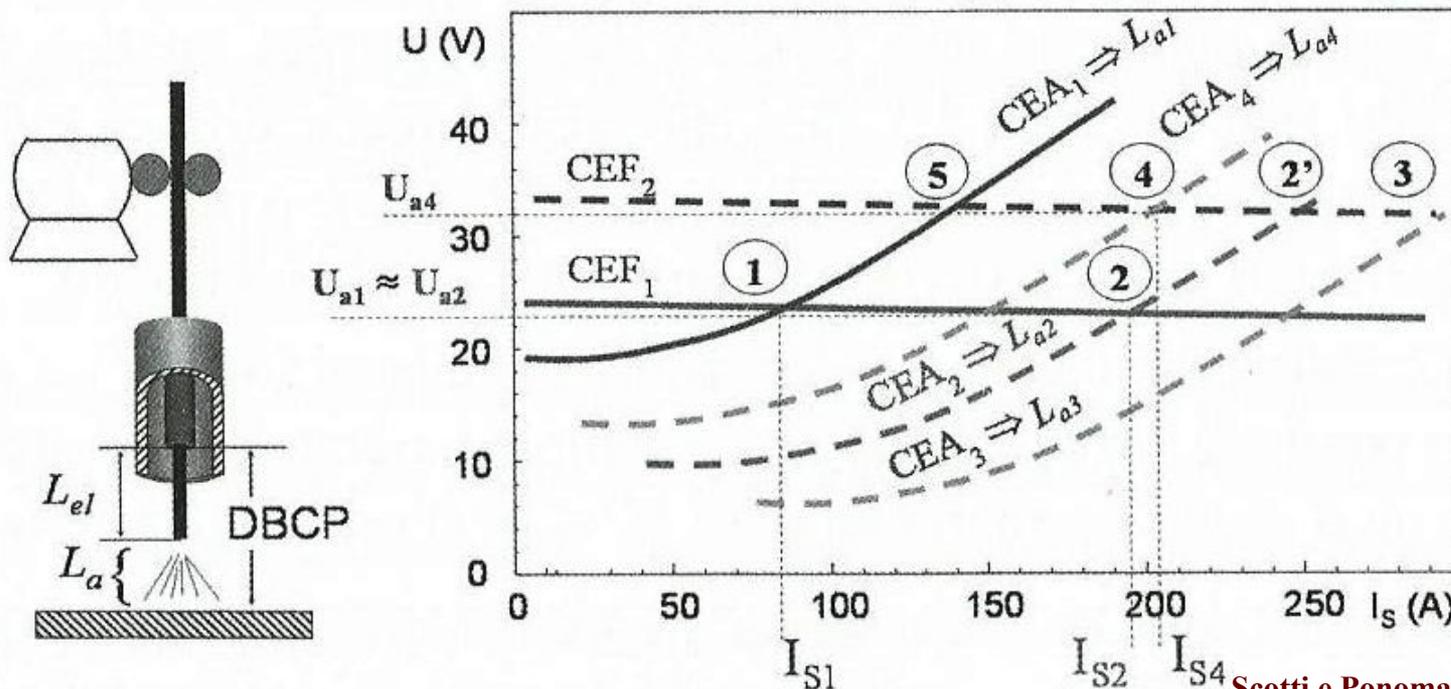


REGULAGEM DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

$$V_{alim} = C = \alpha \cdot I_s + \beta \cdot L_{el} \cdot I_s^2$$

- $\uparrow V_{alim}$, mesma CEF (regulagem de tensão) $\Rightarrow I_s \uparrow$ e $L_a \downarrow$, migrando o equilíbrio para o **Ponto 2**

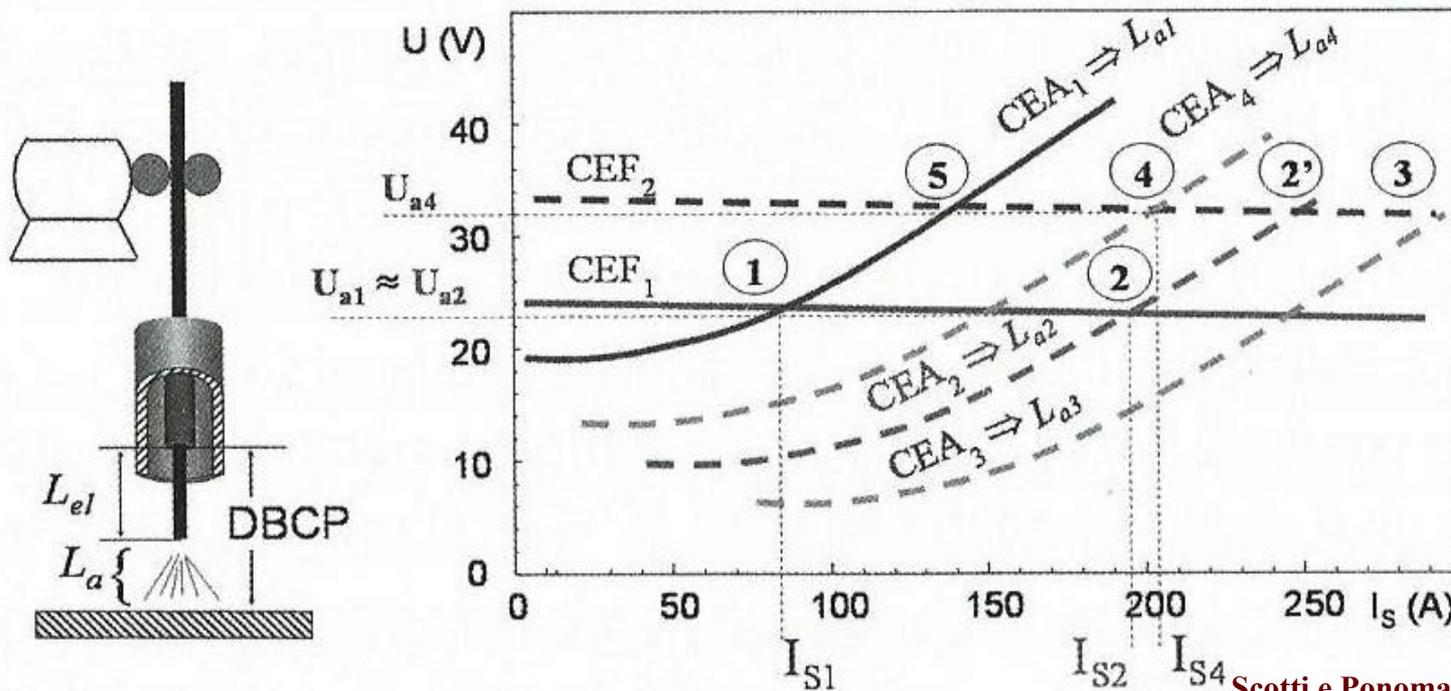


REGULAGEM DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

$$V_{alim} = C = \alpha \cdot I_s + \beta \cdot L_{el} \cdot I_s^2$$

- Fixada a V_{alim} , o que acontece se aumentarmos a regulagem de tensão?

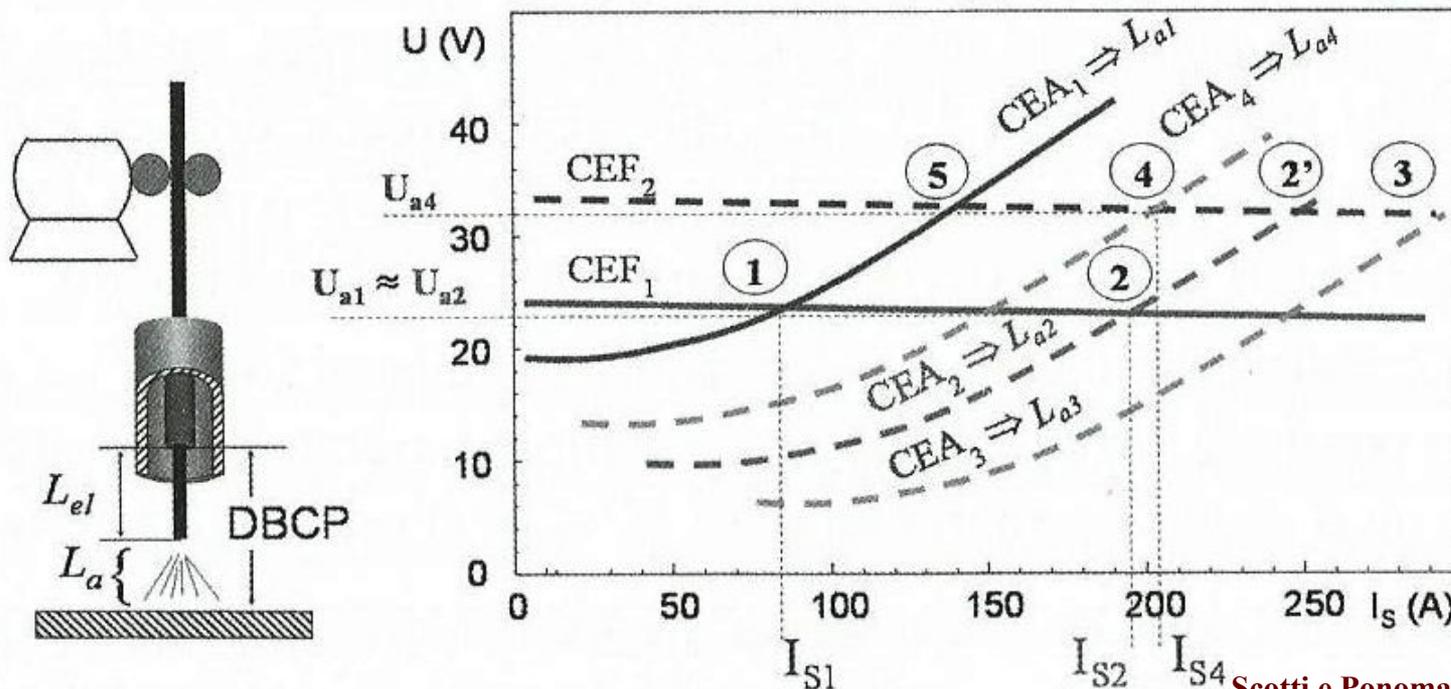


REGULAGEM DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

$$V_{alim} = C = \alpha \cdot I_s + \beta \cdot L_{el} \cdot I_s^2$$

- ↑ Regulagem de tensão, mesma $V_{alim} \Rightarrow I_s \uparrow$ e $L_a \uparrow$, migrando o equilíbrio para o **Ponto 4**

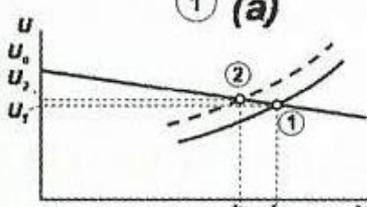
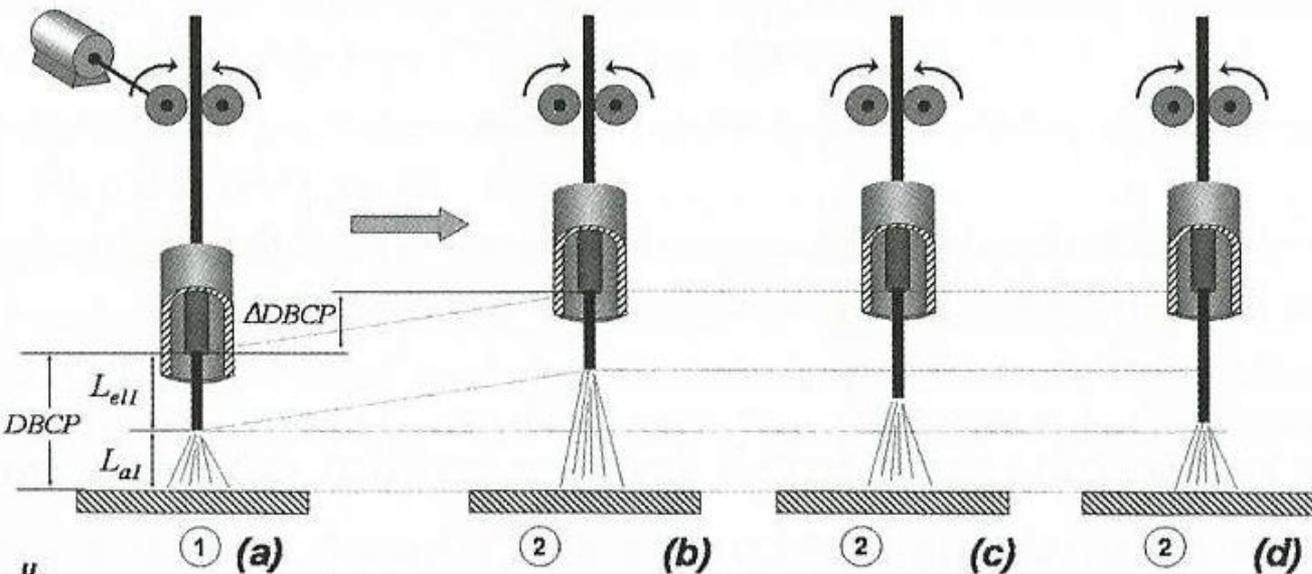


REGULAGEM DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

$$V_{alim} = C = \alpha \cdot I_s + \beta \cdot L_{el} \cdot I_s^2$$

- Fixada a regulagem de tensão e V_{alim} , o que acontece se aumentarmos a DBCP?



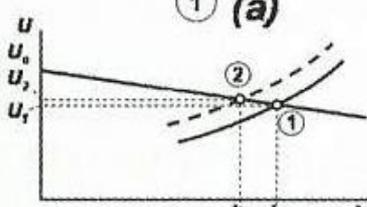
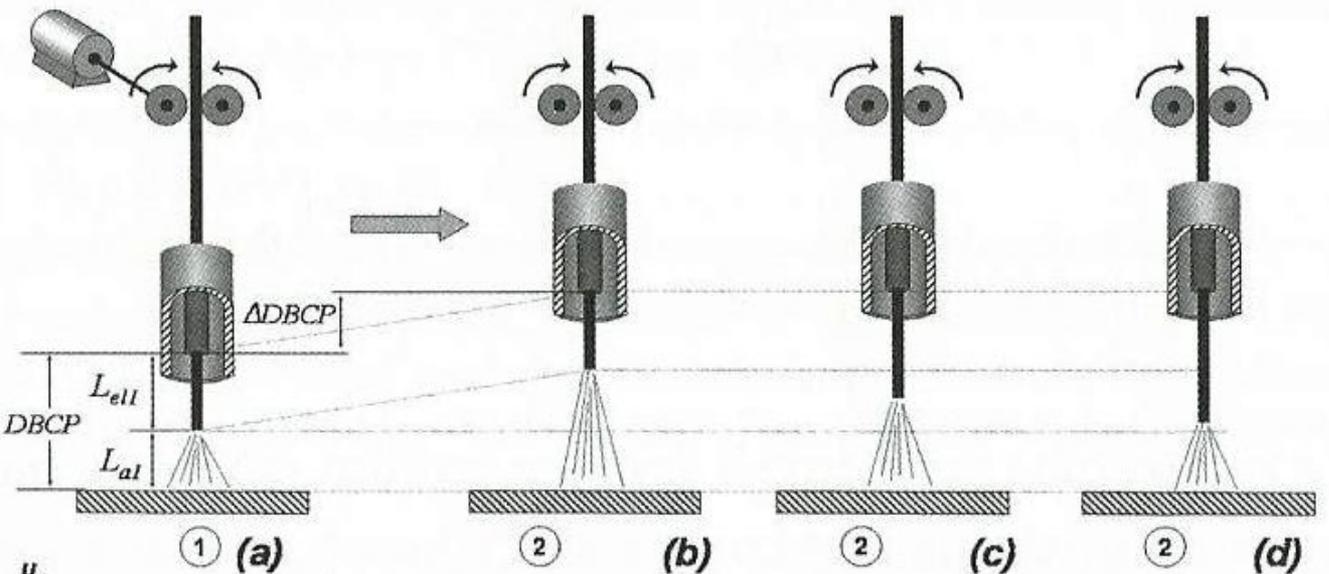
$L_{el2} \approx L_{el1}$	$L_{el2} > L_{el1}$	$L_{el2} \approx L_{el1} + \Delta DBCP$
$L_{a2} \approx L_{a1} + \Delta DBCP$	$L_{a2} > L_{a1}$	$L_{a2} \approx L_{a1}$

REGULAGEM DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

$$V_{alim} = C = \alpha \cdot I_s + \beta \cdot L_{el} \cdot I_s^2$$

- Mesma regulagem de tensão, mesma V_{alim} e \uparrow DBCP $\Rightarrow I_s \downarrow$ e $L_{el} \uparrow$



$$L_{el2} \approx L_{el1} \quad L_{el2} > L_{el1} \quad L_{el2} \approx L_{el1} + \Delta DBCP$$

$$L_{a2} \approx L_{a1} + \Delta DBCP \quad L_{a2} > L_{a1} \quad L_{a2} \approx L_{a1}$$