

Aula 5

Descarga em Arco

Descarga em Arco

Este é um dos sistemas mais utilizados industrialmente. Este sistema teve como principal aplicação a iluminação, as lâmpadas de arco de grafite eram muito utilizadas em holofotes e em projetores de cinema.

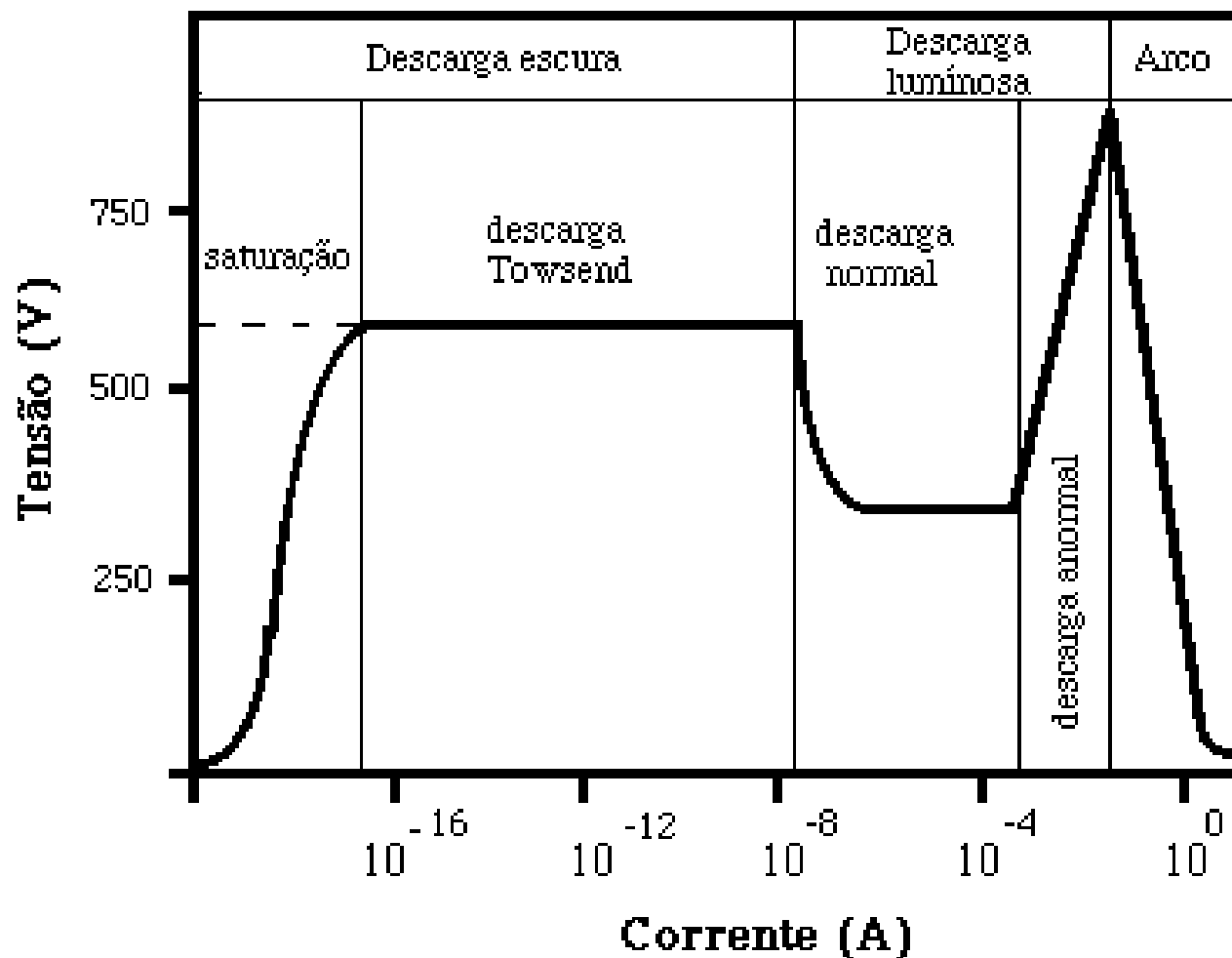
Descarga em Arco

As descargas em arco são principalmente descargas DC e situa-se no limiar da descarga DC anormal. As correntes envolvidas na descargas estão entre 1 e 10 A a baixa pressão. Esta corrente é muito maior que a corrente em uma descarga luminosa com correntes $< 50\text{mA}$.

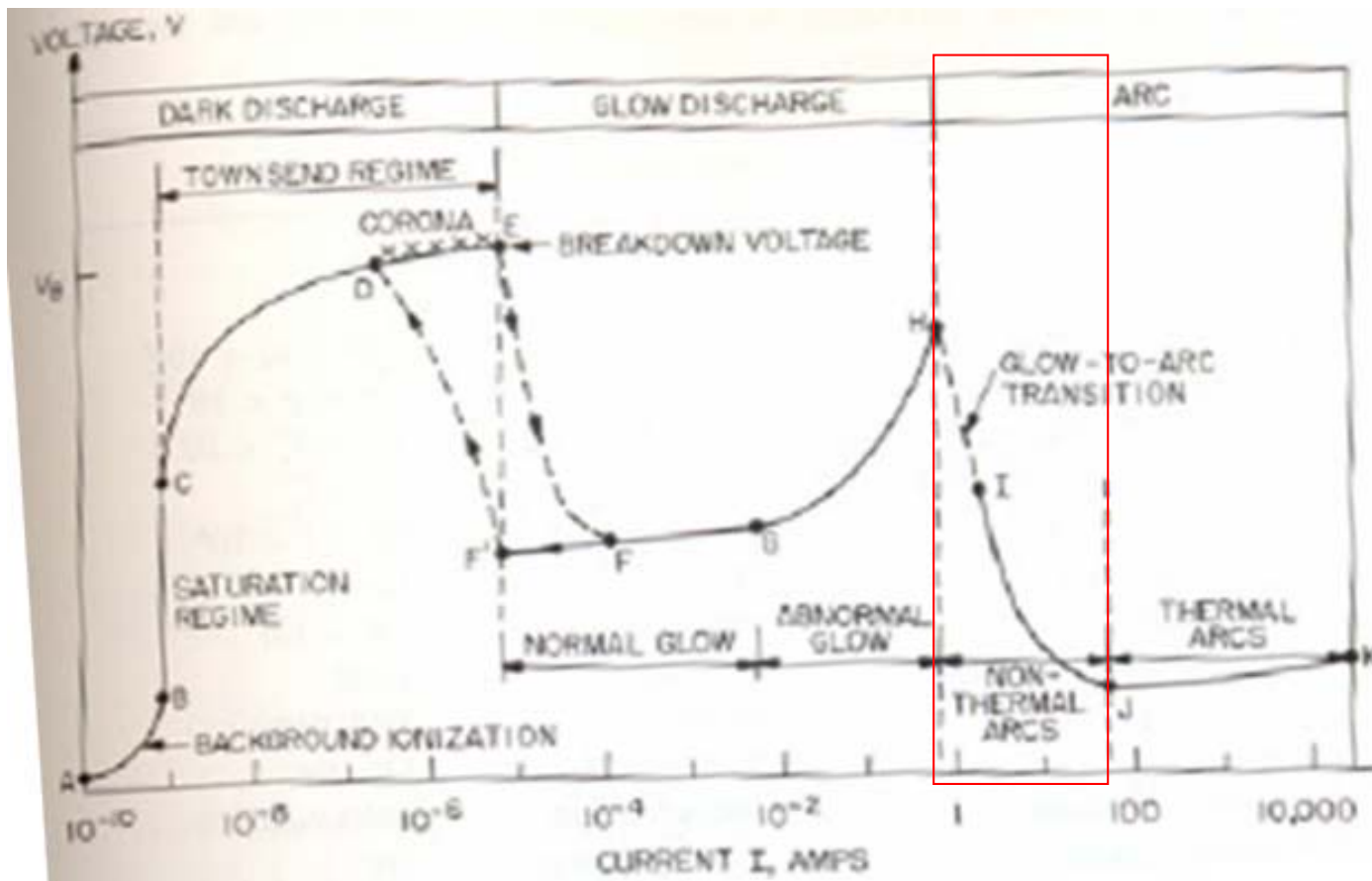
Descarga em Arco

As principais características da descarga em arco são a corrente de centenas de ampers por centímetro quadrado de eletrodo. As tensões envolvidas na descarga são relativamente baixas entre 10 e 50 V e não existe uma região uniforme no plasma, plasma sem equilíbrio termodinâmico. A distância entre os eletrodos é de alguns milímetros.

Curva corrente x tensão para descarga DC



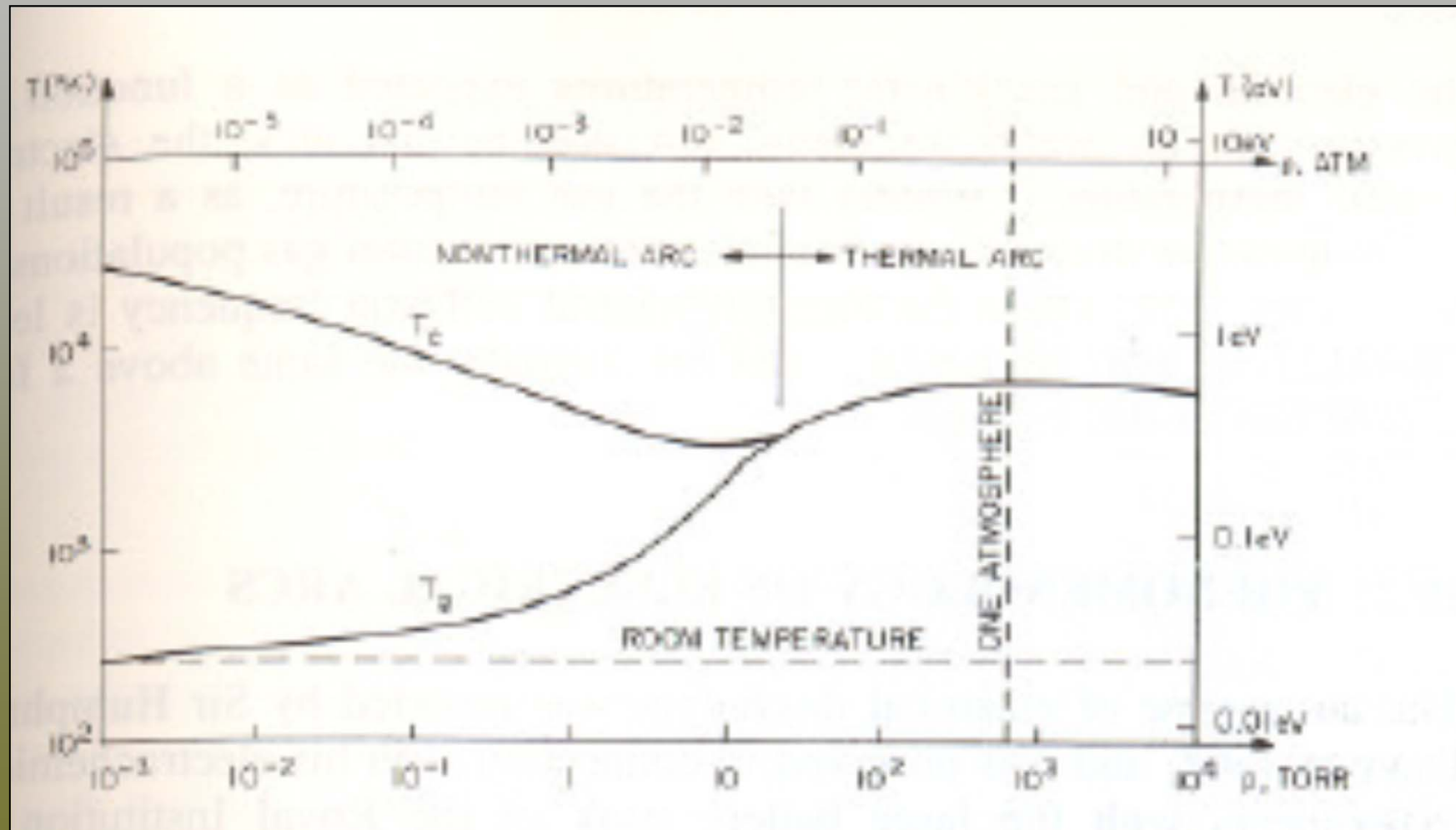
Curva corrente x tensão para descarga DC



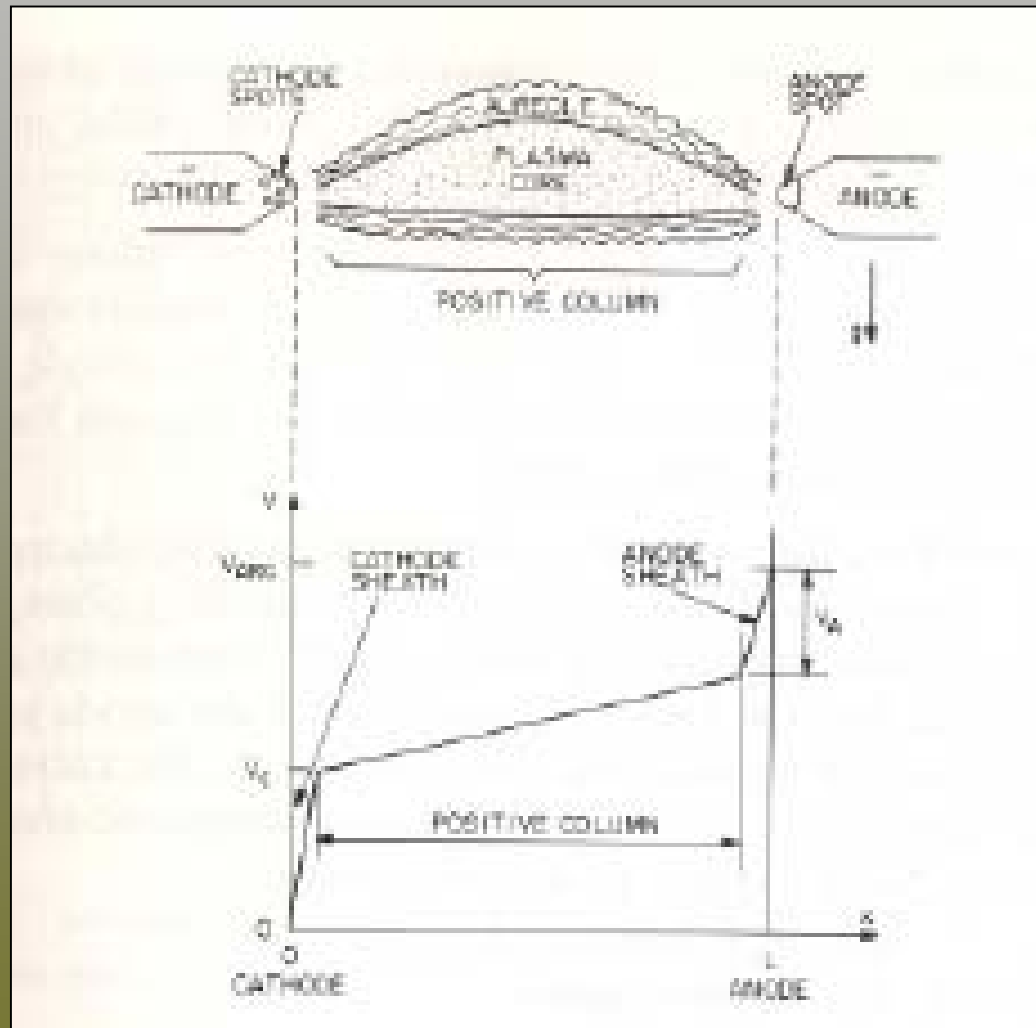
Principais características da descarga em arco

Plasma parameter	Non-thermal arc	Thermal arc
Equilibrium state	Kinetic	tru
Electron density, n_e (electrons/m ³)	$10^{20} < n_e < 10^{21}$	$10^{21} < n_e < 10^{25}$
Gas pressure, p (Pa)	$0.1 < p < 10^3$	$10^4 < p < 10^7$
Electron temperature, T_e , (eV)	$0.2 < T_e < 2.0$	$1.0 < T_e < 10$
Gas temperature, T_g (eV)	$0.025 < T_g < 0.5$	$T_e = T_g$
Arc current, I (A)	$1 < I < 50$	$50 < I < 10^4$
E/p (V/m-Torr)	High	Low
I/E (kW/cm)	$I/E < 1.0$	$I/E > 1.0$
Typical cathode emission	Thermionic	Field
Luminous intensity	Bright	Dazzling
Transparency	Transparent	Opaque
Ionization fraction	Indeterminate	Saha equation
Radiation output	Indeterminate	LTE

Influência da pressão na descarga em arco



Regiões da descarga em arco

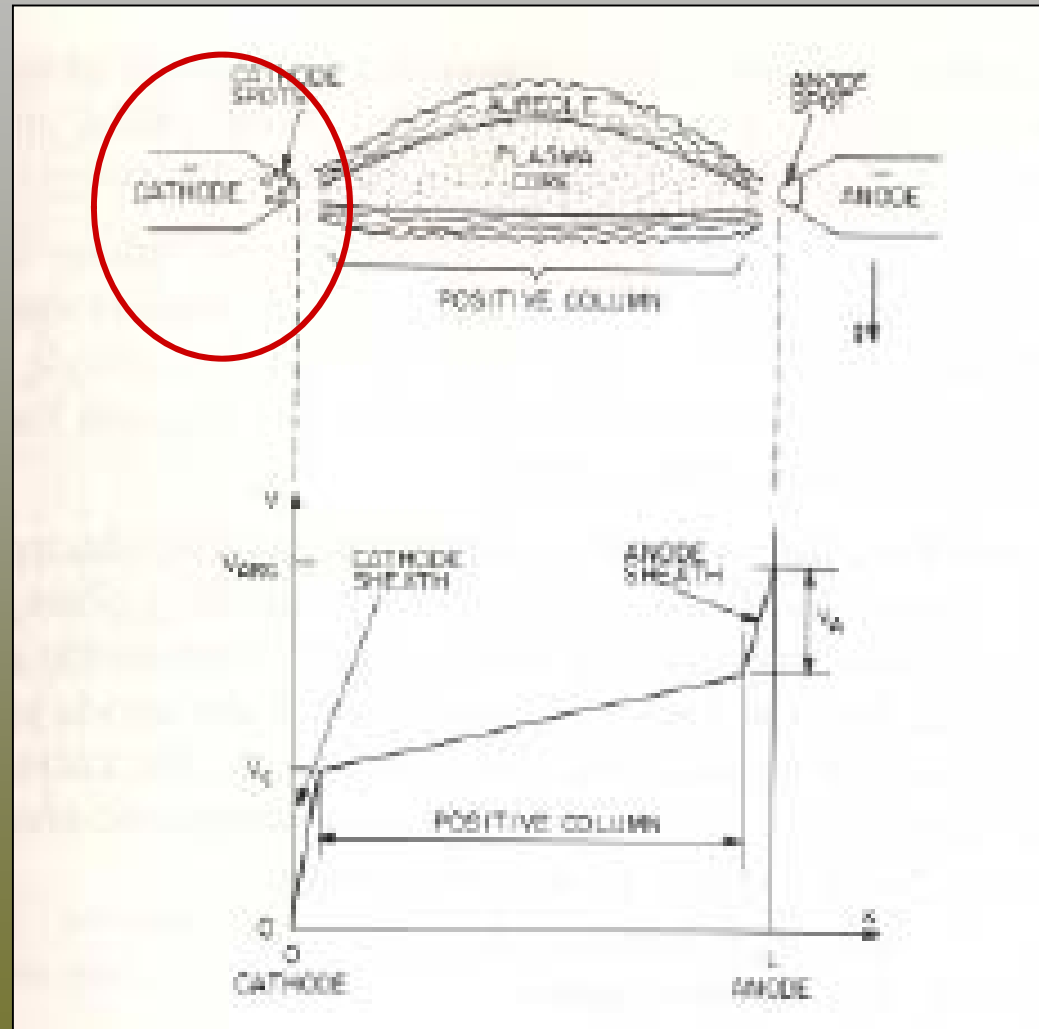


Regiões da descarga em arco

Nomenclatura Clássica

1. Catodo;
2. *Spots* de catodo;
3. Bainha catódica;
4. Coluna positiva;
5. Corpo do plasma;
6. Auréola;
7. Bainha anódica;
8. *Spot* anódicos;
9. Anodo.

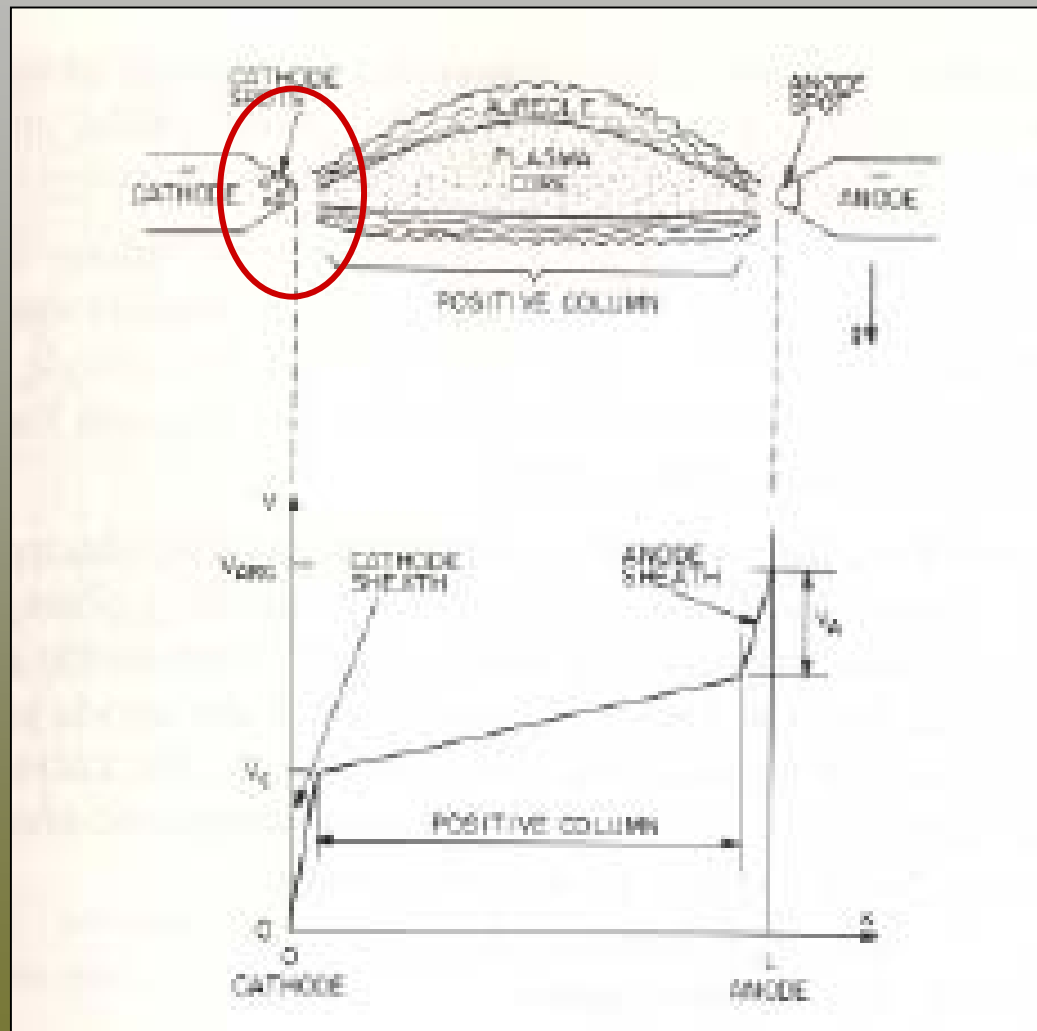
Catodo



Catodo

- O catodo é o eletrodo negativo, em arcos não térmicos também é utilizado na emissão de elétrons por efeito termoiônico.

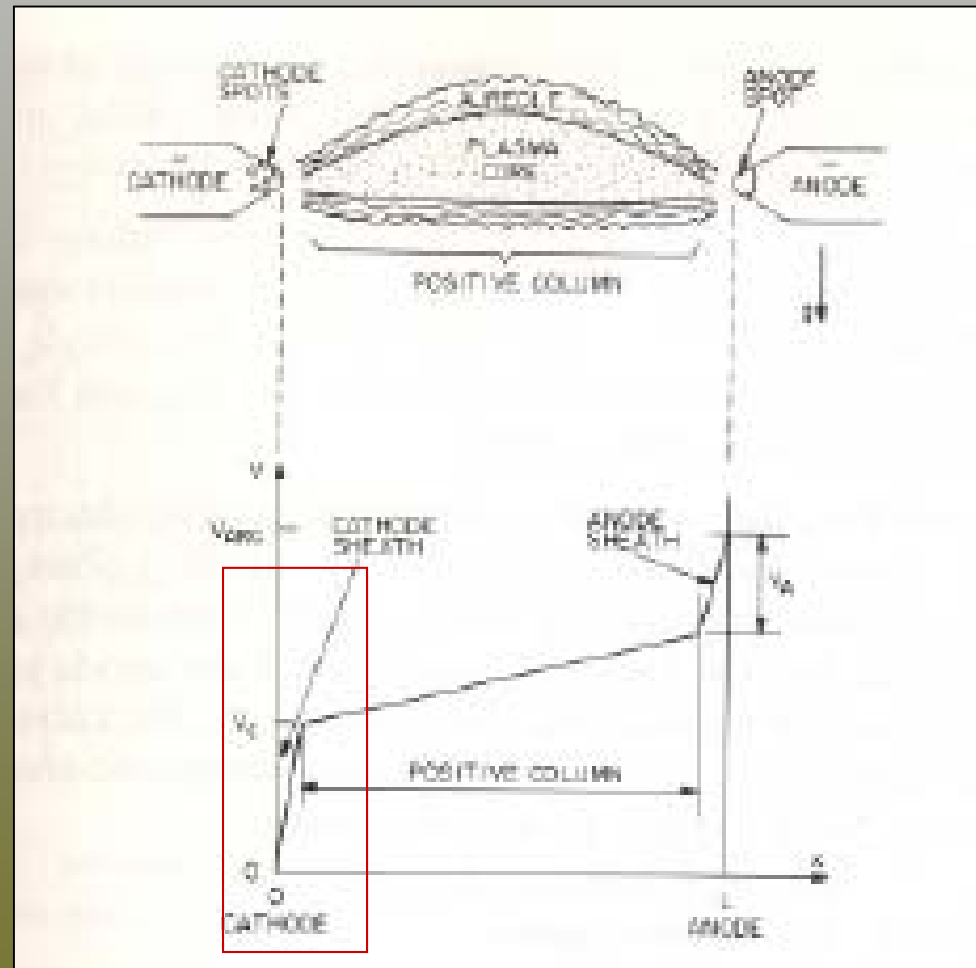
Spots do catodo



Spots do catodo

Os *spots* no catodo ocorrem em um ou mais pontos do plasma devido ao aquecimento do eletrodo pelo plasma, a corrente no *spot* é da ordem de 500 a 10000 A/cm² e a corrente na coluna positiva é em torno de 100 A. A temperatura do catodo está entre 2200 e 3300 K. Os *spots* movem-se sobre a superfície do catodo com a velocidade de alguns m/s durante este movimento partes do catodo é vaporizada.

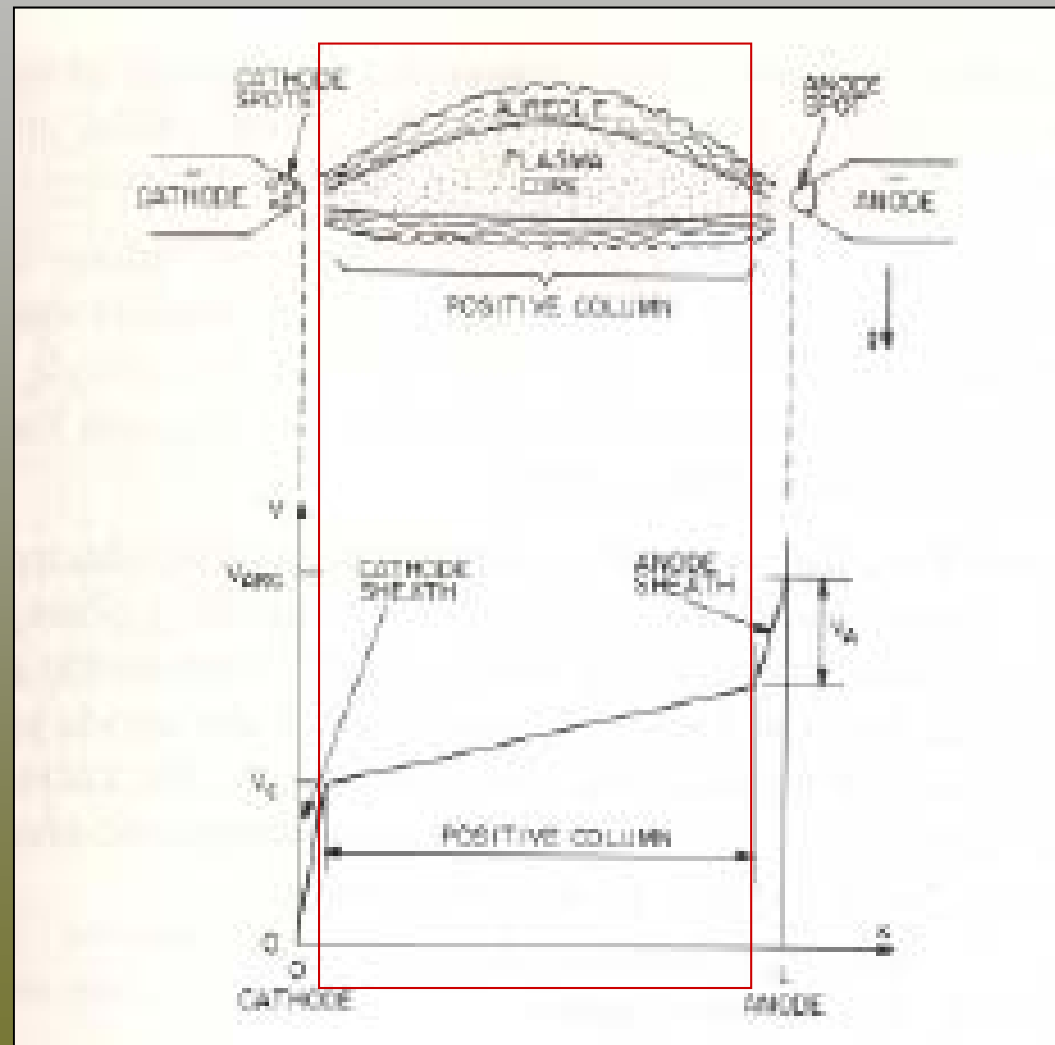
Bainha catódica



Bainha catódica

Esta bainha ocorre na vizinhança do catodo, com espessura de menos de 1 mm. A queda de tensão sobre esta bainha é de tipicamente 10 V, comparável ao potencial de ionização do gás.

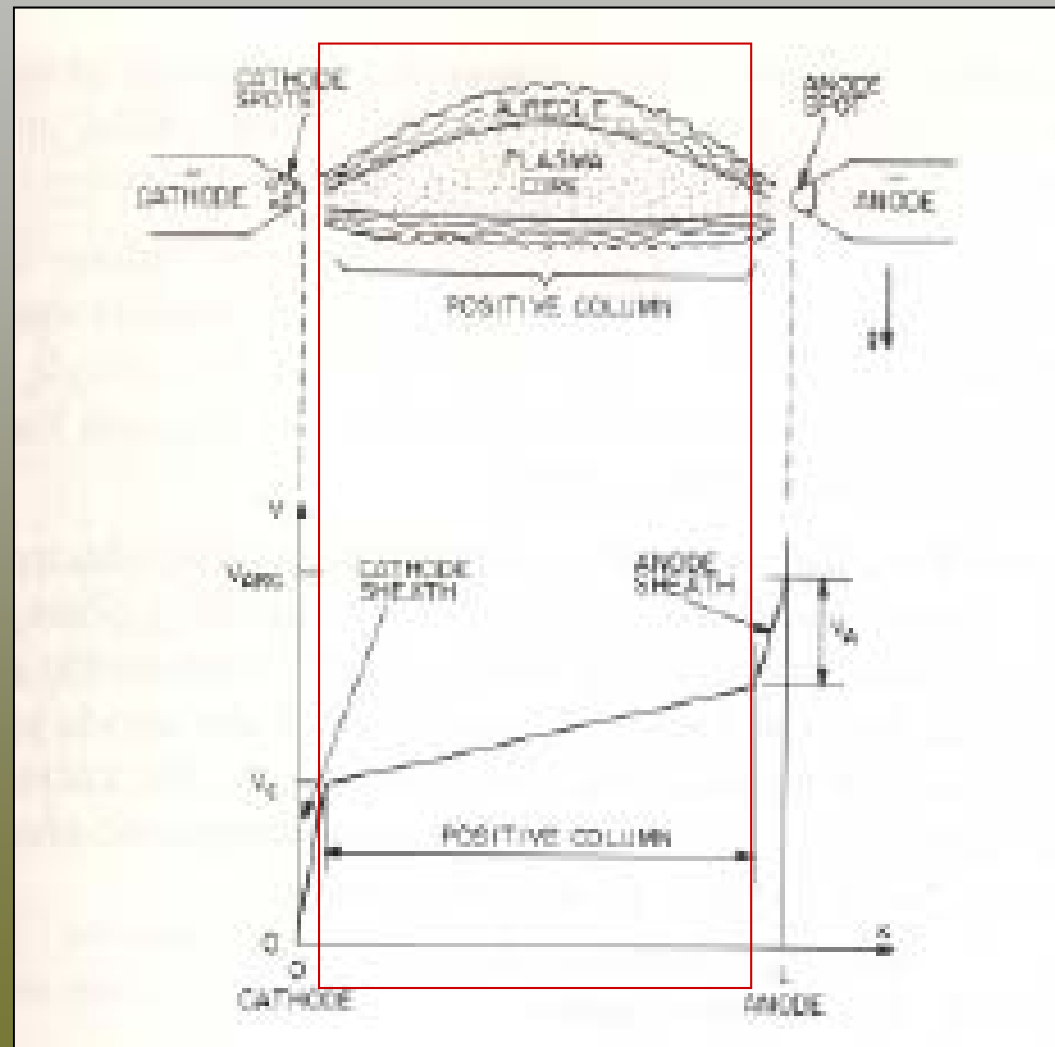
Coluna positiva



Coluna positiva

A coluna positiva é constituída do corpo da descarga em arco. A queda de tensão nesta região do plasma é baixa, normalmente é dividida em três partes.

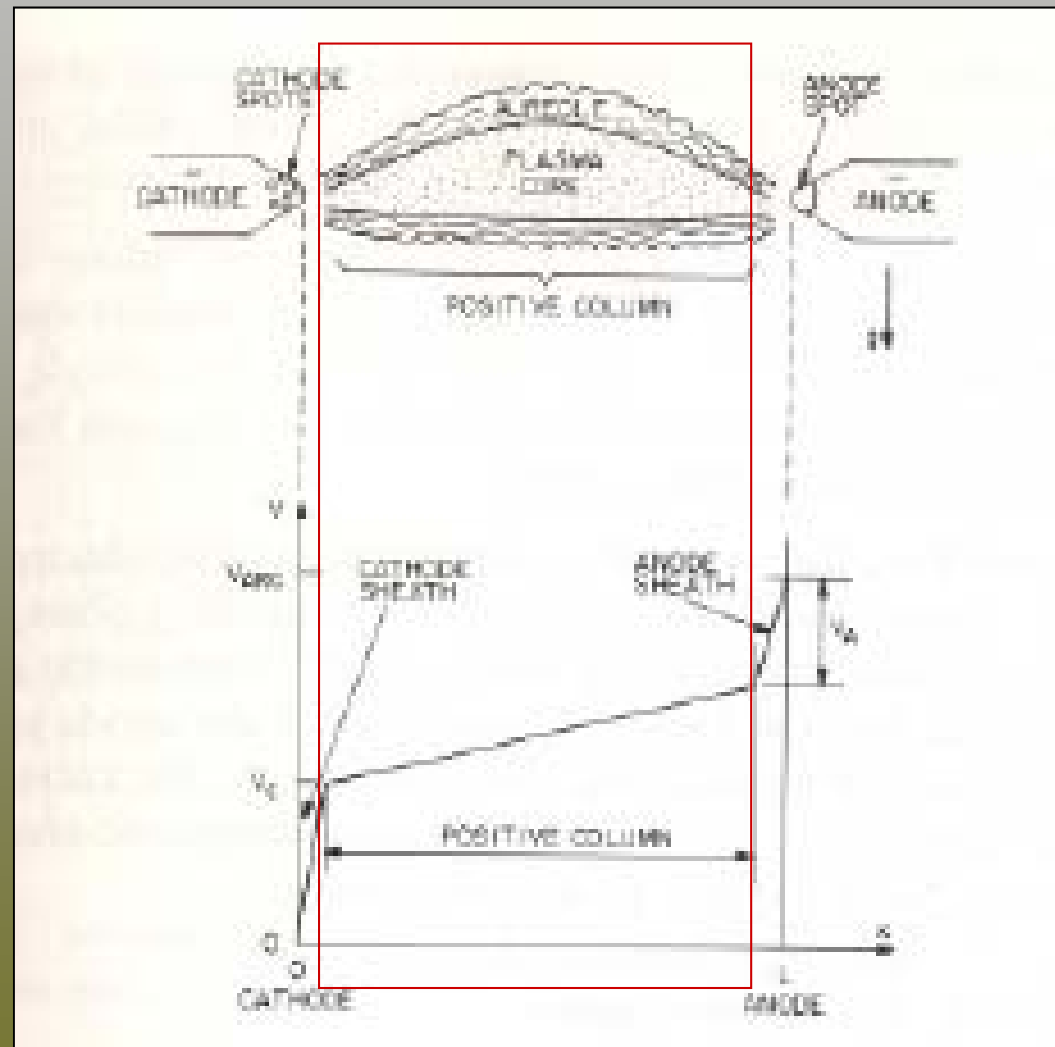
Corpo do plasma



Corpo do plasma

Corpo do plasma na região mais quente da descarga, a maior parte do gás é dissociada nesta região, em muitos plasmas que ocorrem a alta pressão, esta região é preponderante e tem um equilíbrio termodinâmico semelhante ao corpo negro, a temperatura desta região depende do gás e da natureza dos eletrodos, mas pode chegar a 5700K.

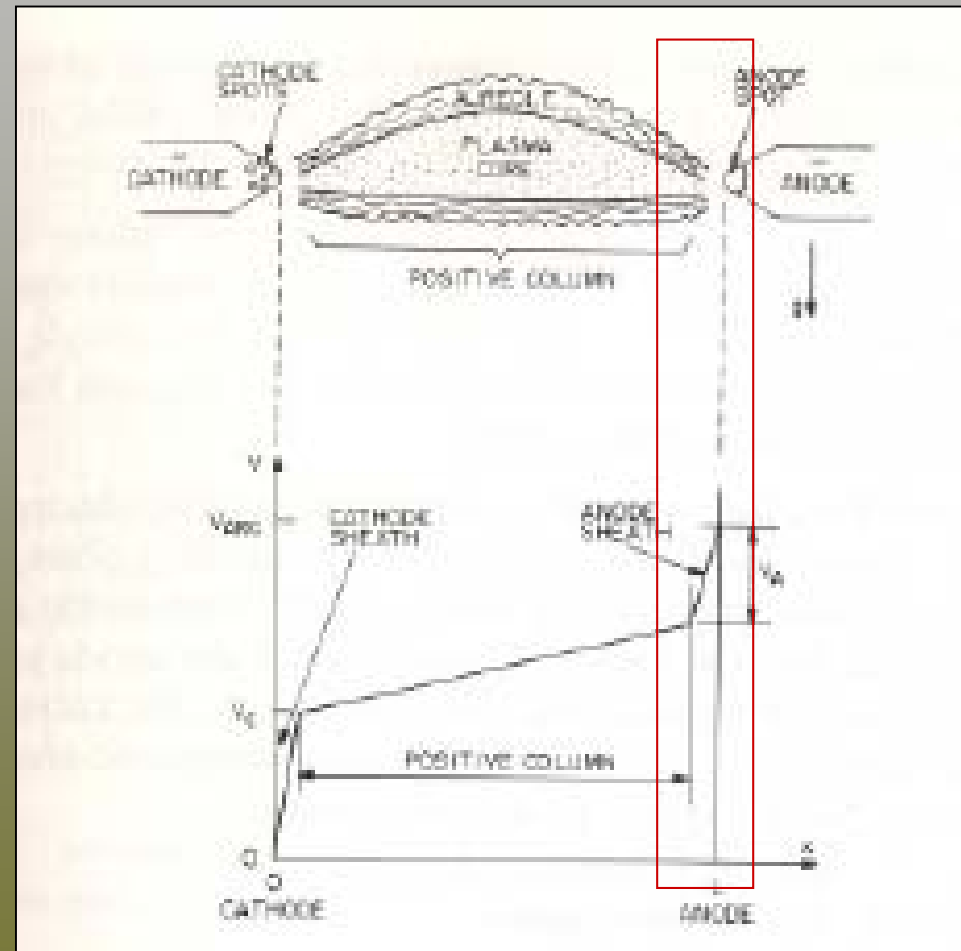
Auréola



Auréola

Esta é a região externa ao corpo do plasma, é uma região flamejante, sem qualquer equilíbrio termodinâmico, os processos químicos ocorrem principalmente nesta região.

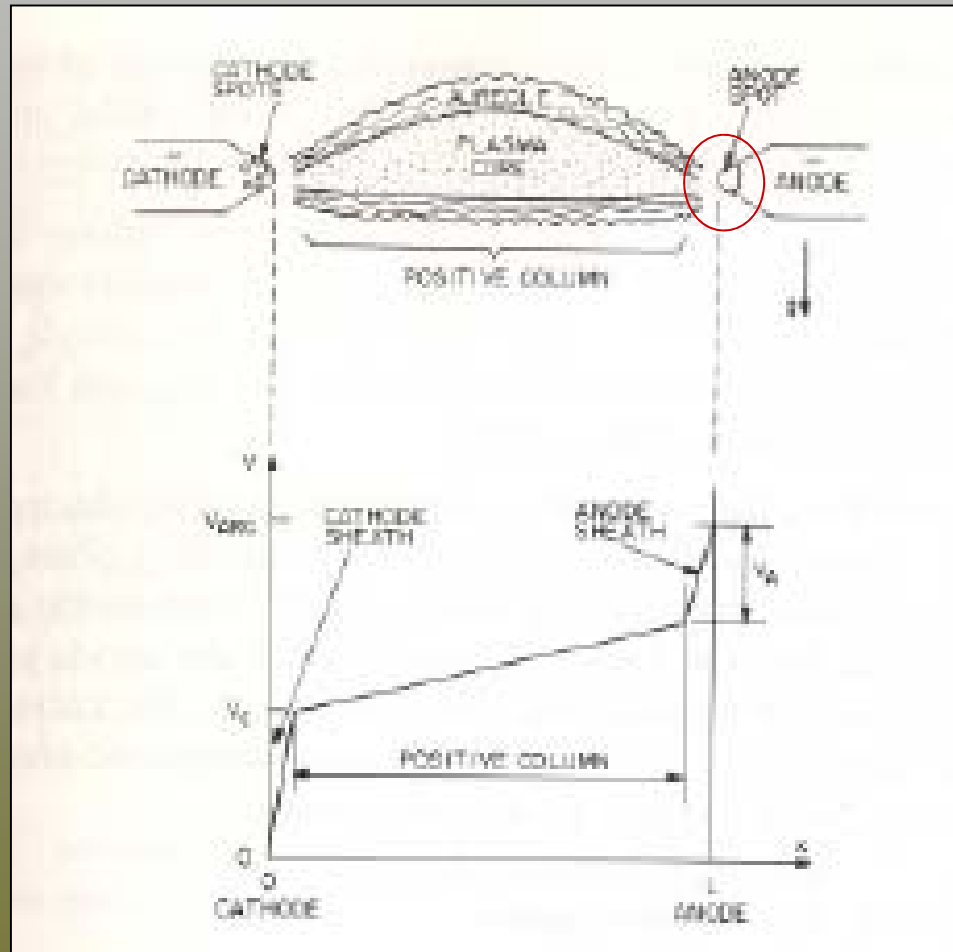
Bainha anódica



Bainha anódica

A bainha anódica ocorre de modo semelhante a bainha catódica e é reponsável pela aceleração dos elétrons que promovem a geração do spot no anodo. A diferença de potencial nesta região é de algumas unidades de volts equivalente ao potencial da descarga.

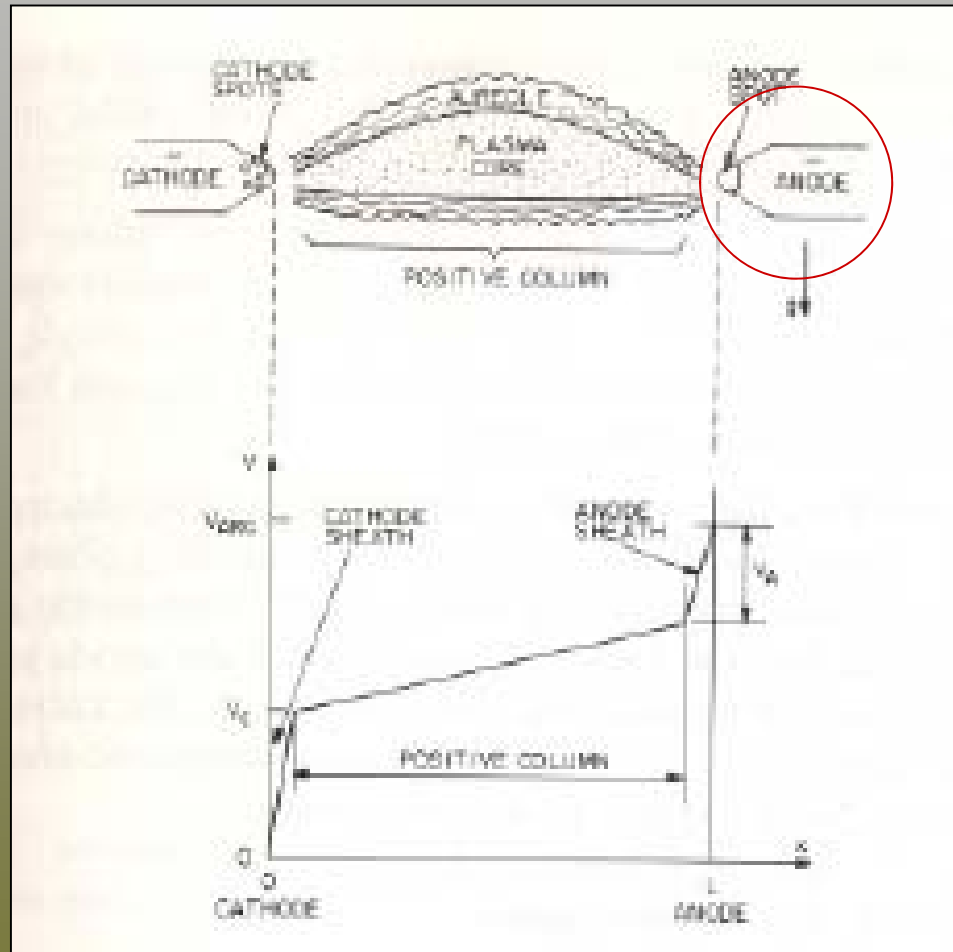
Spot anódico



Spot anódico

No anodo ocorre um unico *spot* que cobre toda a sua superfície. Este *spot* tem baixa corrente com baixa temperatura.

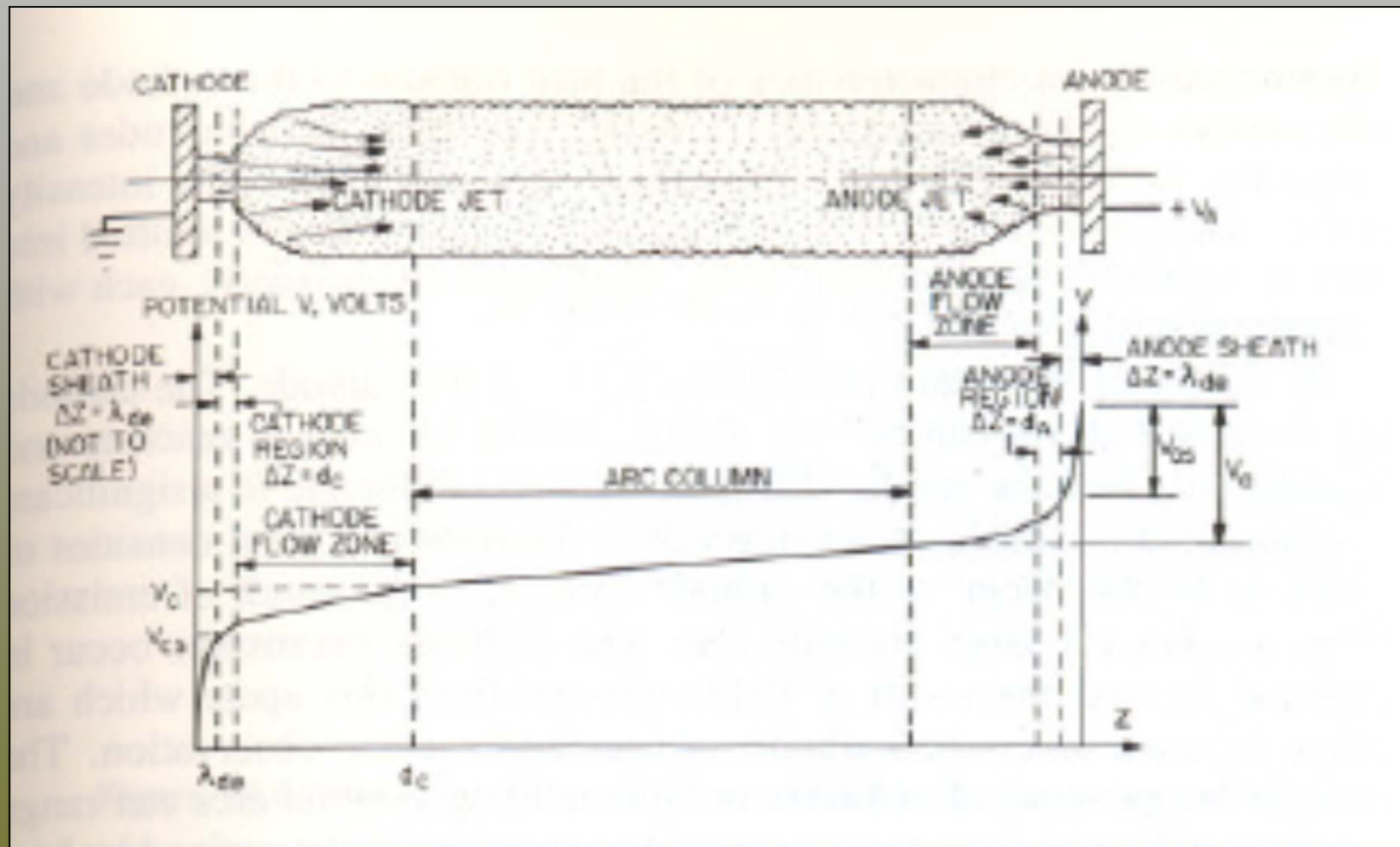
Anodo



Anodo

O anodo é o eletrodo responsável pela captura dos elétrons, sendo fabricado de materiais com alto ponto de fusão, tais como metais refratários, os materiais mais comuns são o cobre e o ferro refrigerados com água, o carbono e o tungstênio.

Regiões da descarga em arco



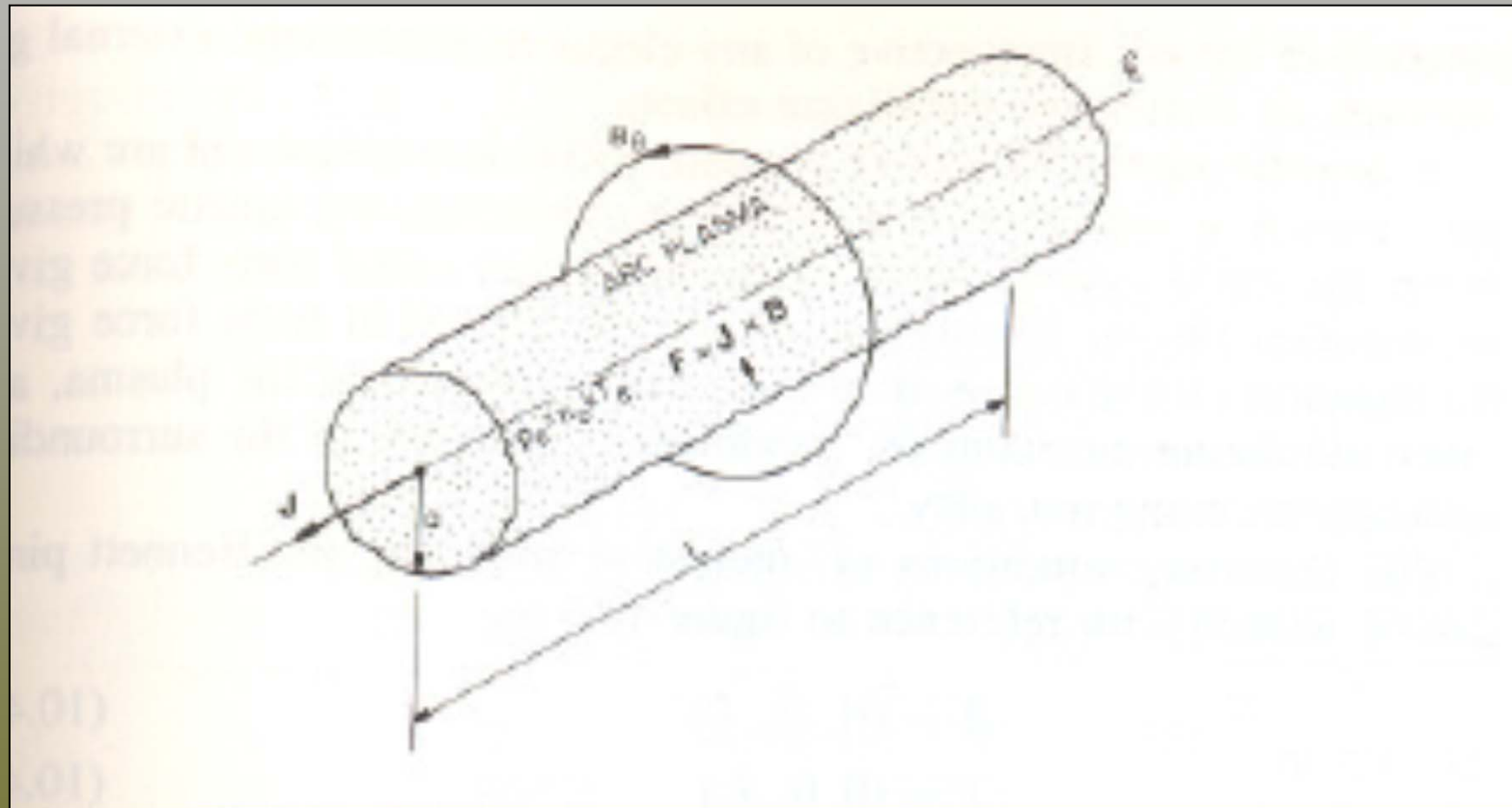
Regiões da descarga em arco

Em estudos mais atuais as regiões da descarga m arco foram redefinidas e melhor ajustadas a descarga que se diferencia bastante dos processos convencionais de plasma.

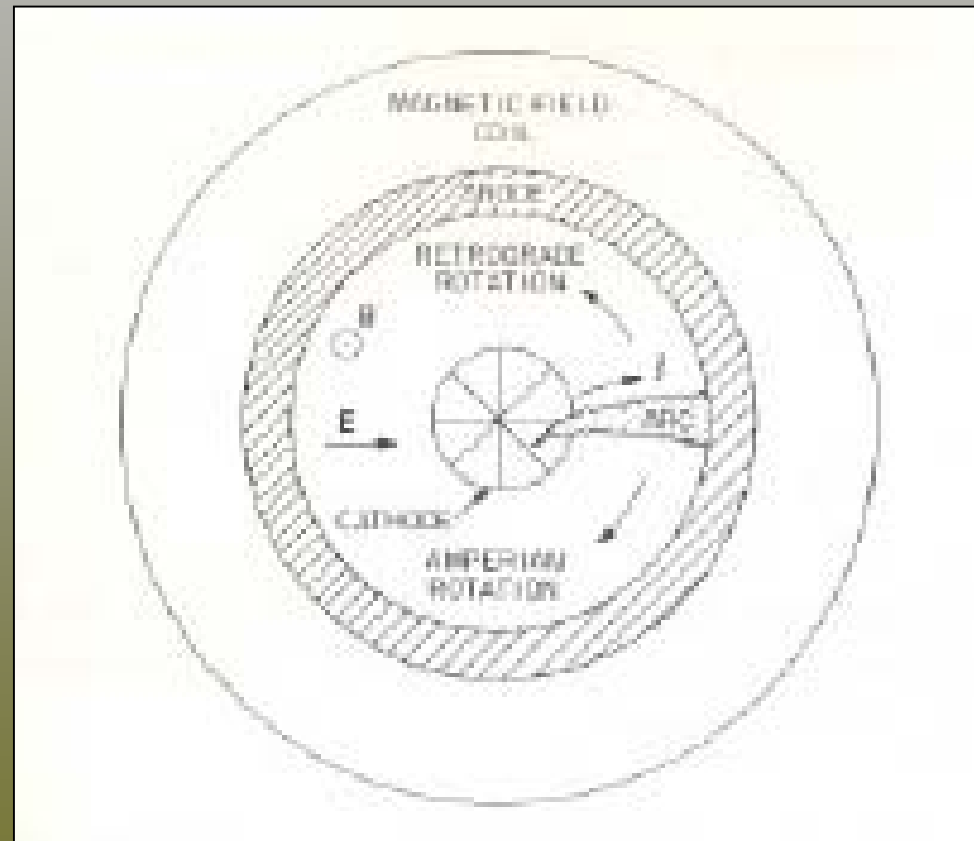
Regiões da descarga em arco

1. Catodo;
2. *Microspots*;
3. Bainha catódica;
4. Jato catódico;
5. Região flutuante de catodo;
6. Coluna do arco;
7. Jato anódico;
8. Região flutuante de anodo
9. *Microspots*;
10. Bainha anódica
11. Anodo

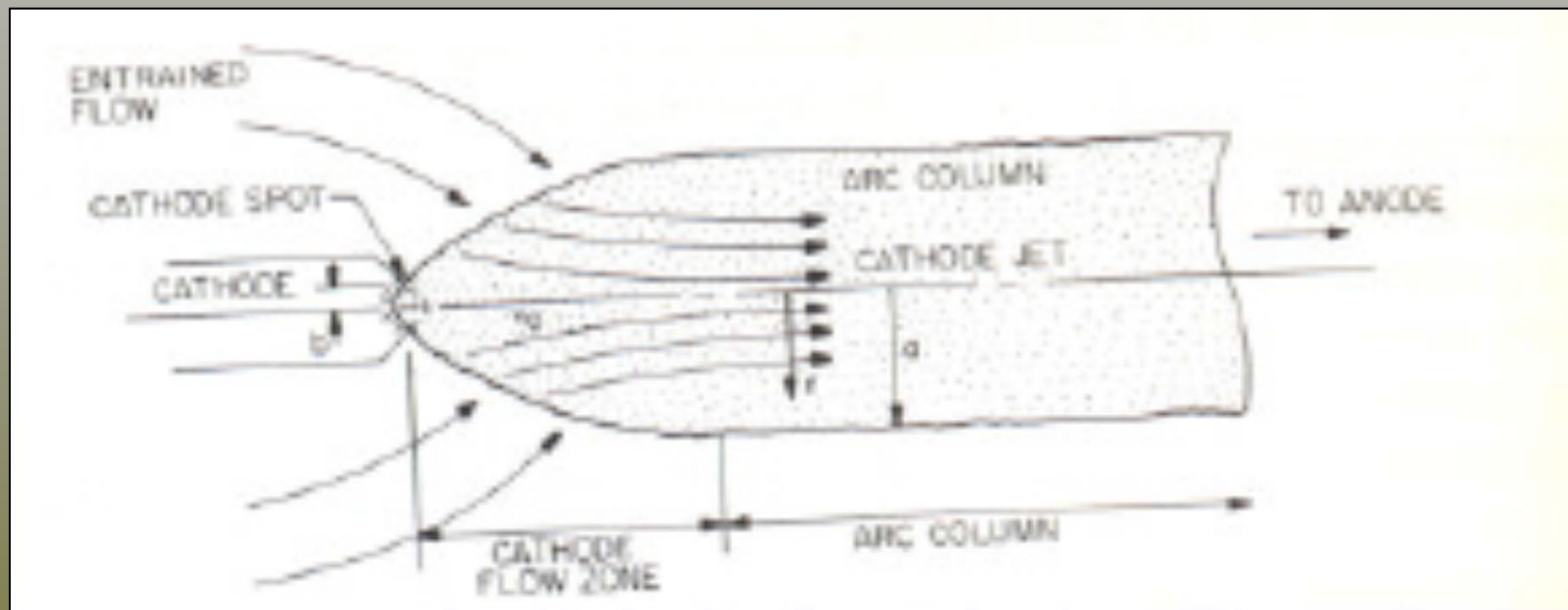
Região de arco



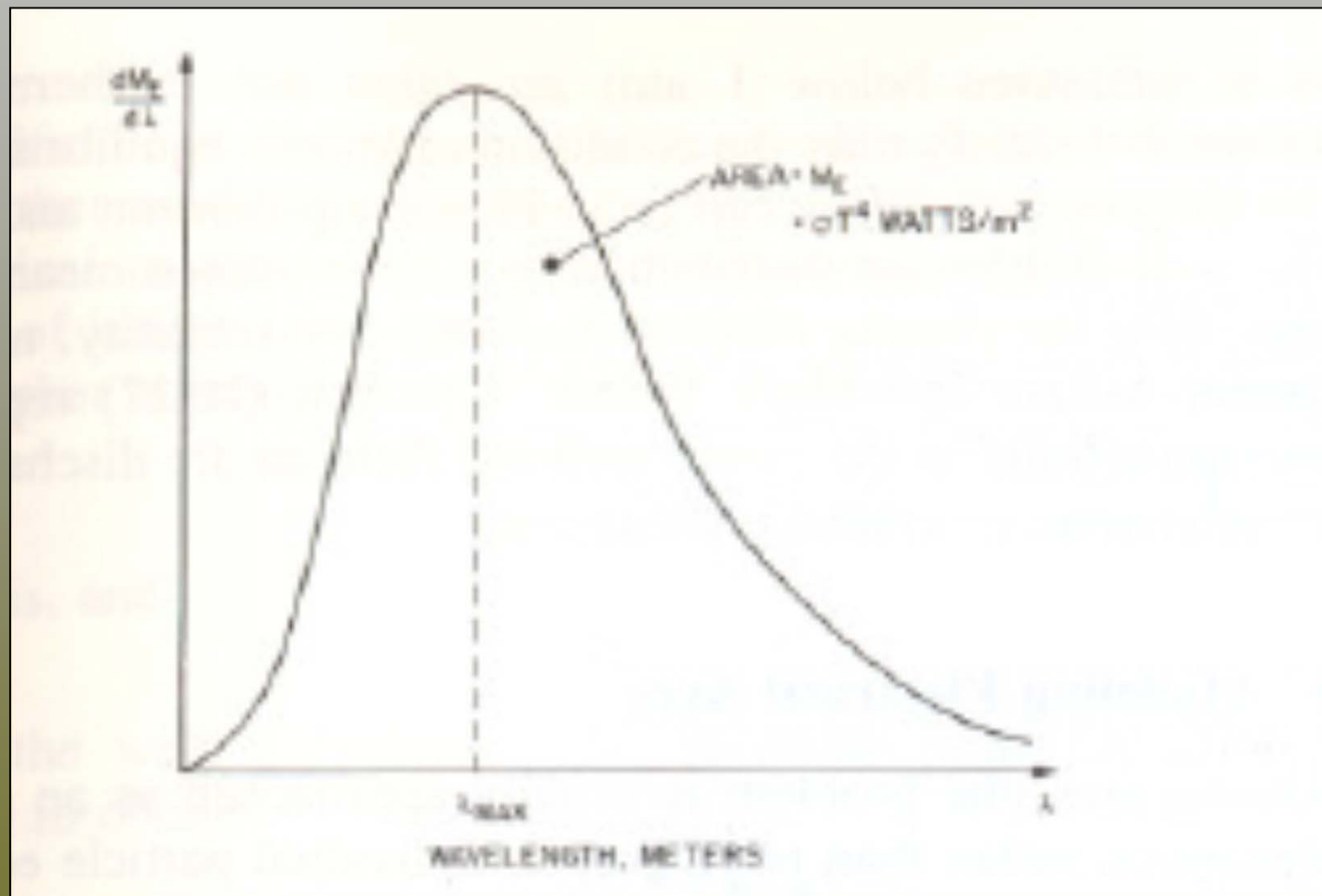
Formação de spots em arco cilíndrico



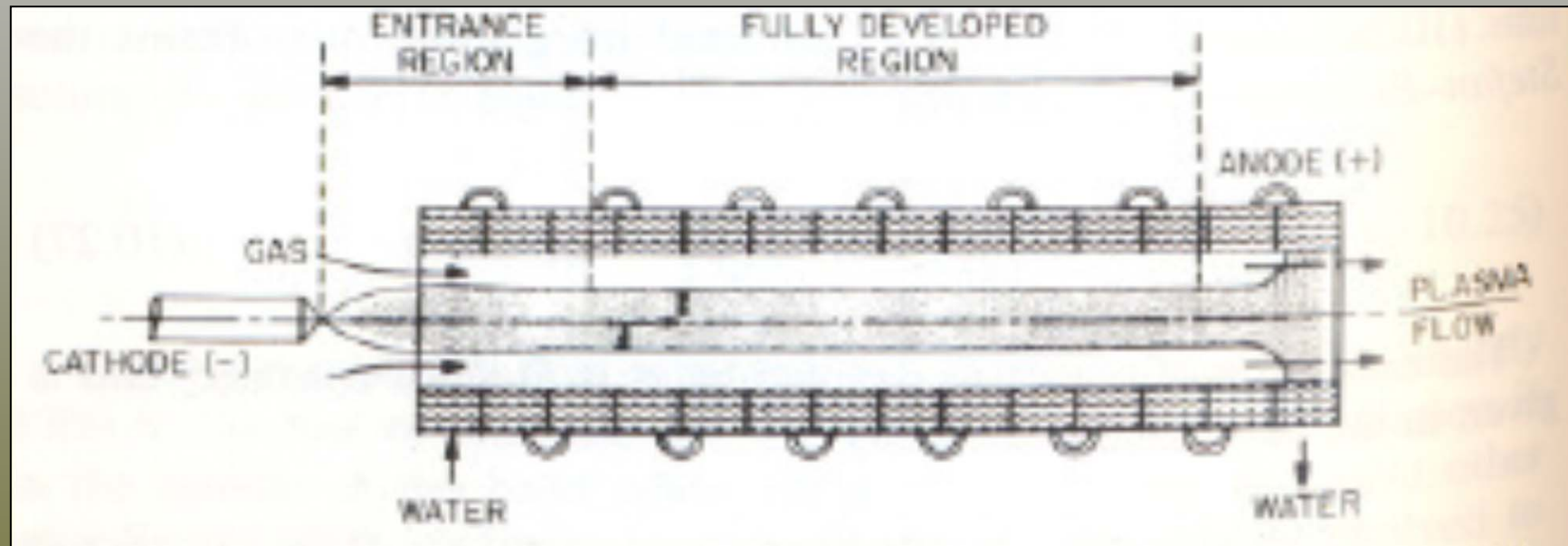
Região do jato catódico



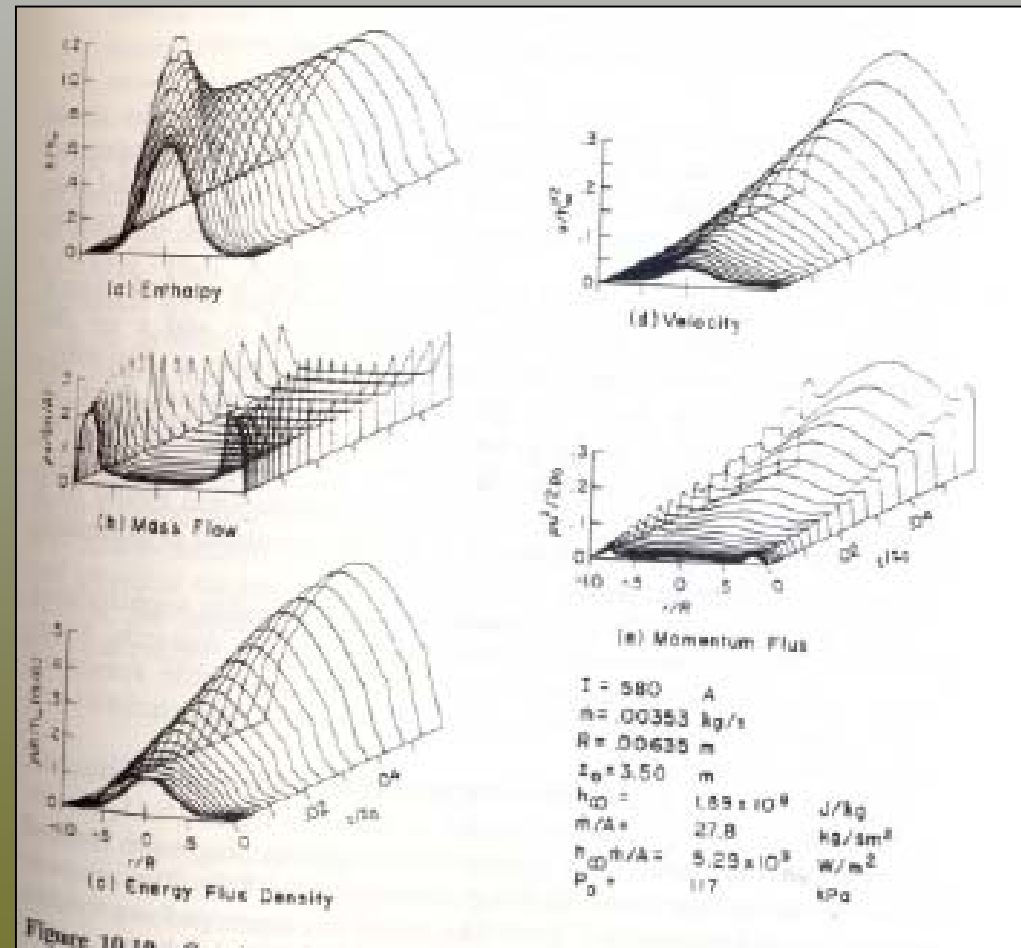
Radiação emitida pelo arco



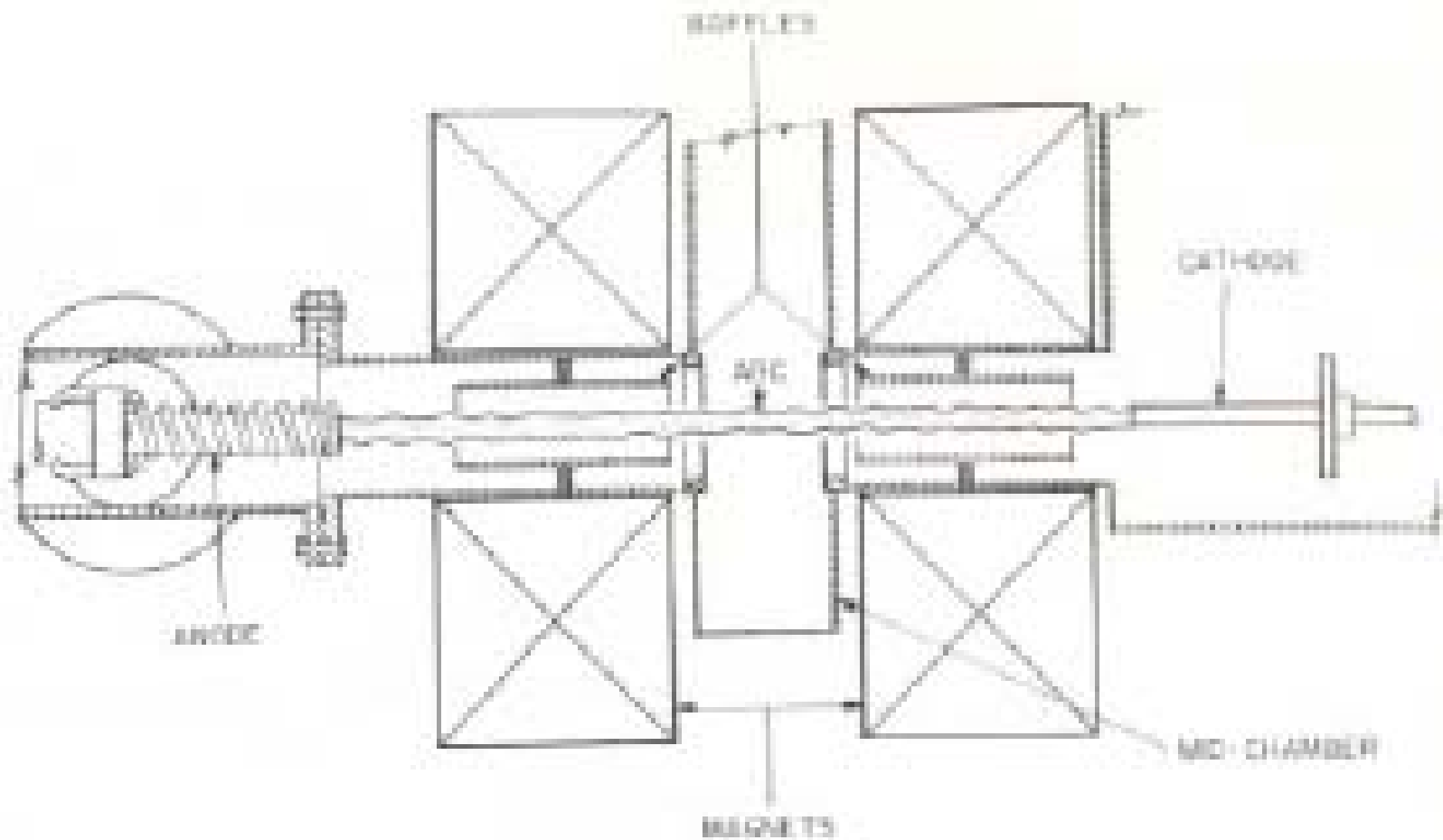
Arco linear com parede estabilizada



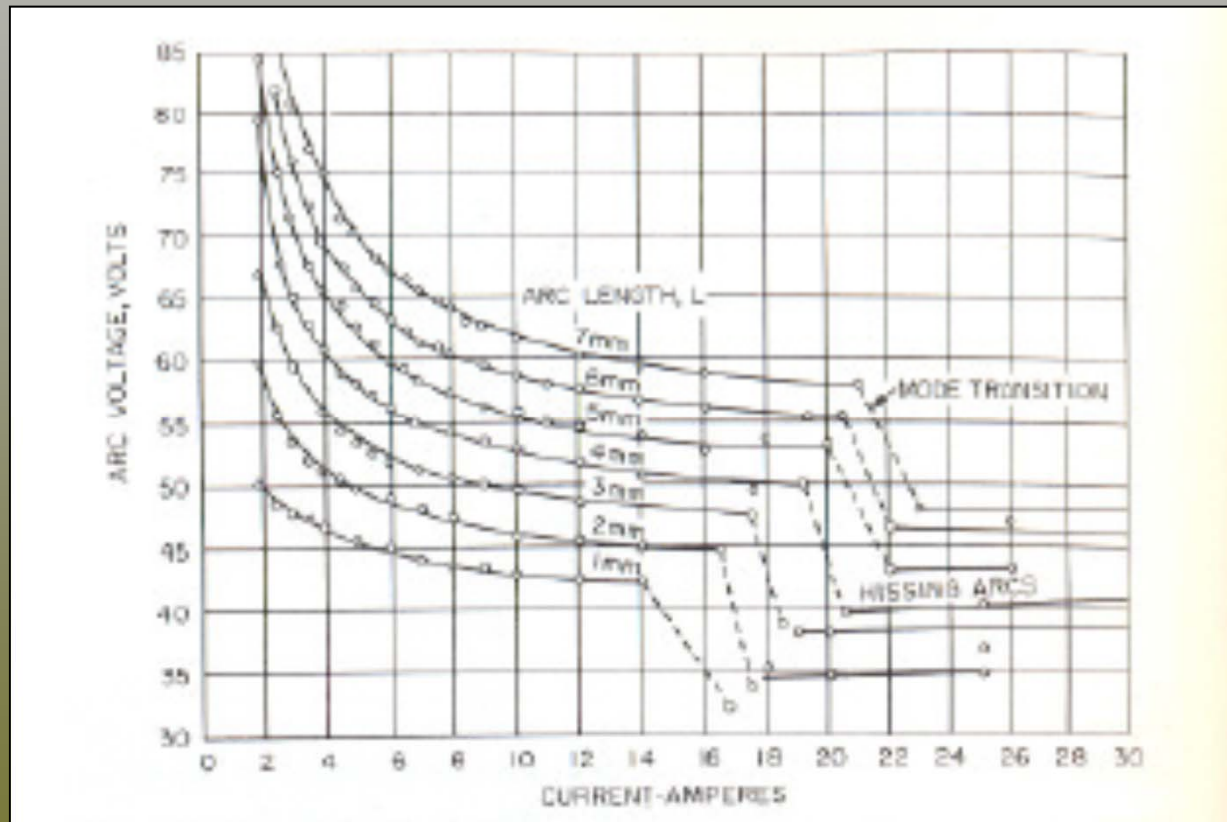
Distribuição de gases em um arco linear



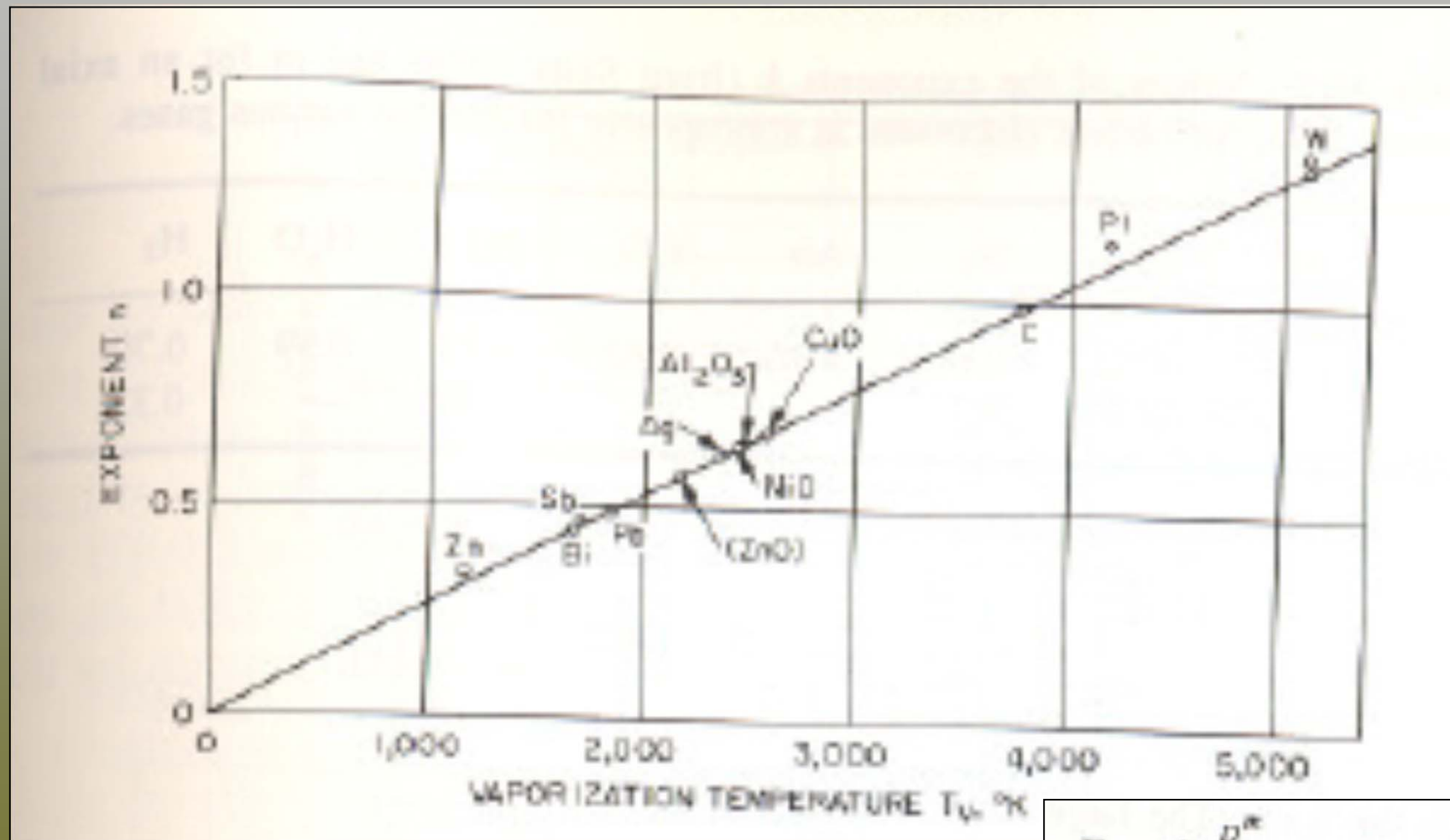
Descarga de arco em baixa pressão para análise de materiais



Curva corrente x tensão para diversos regimes de uma descarga em arco com eletrodos de grafite



Campo elétrico no arco



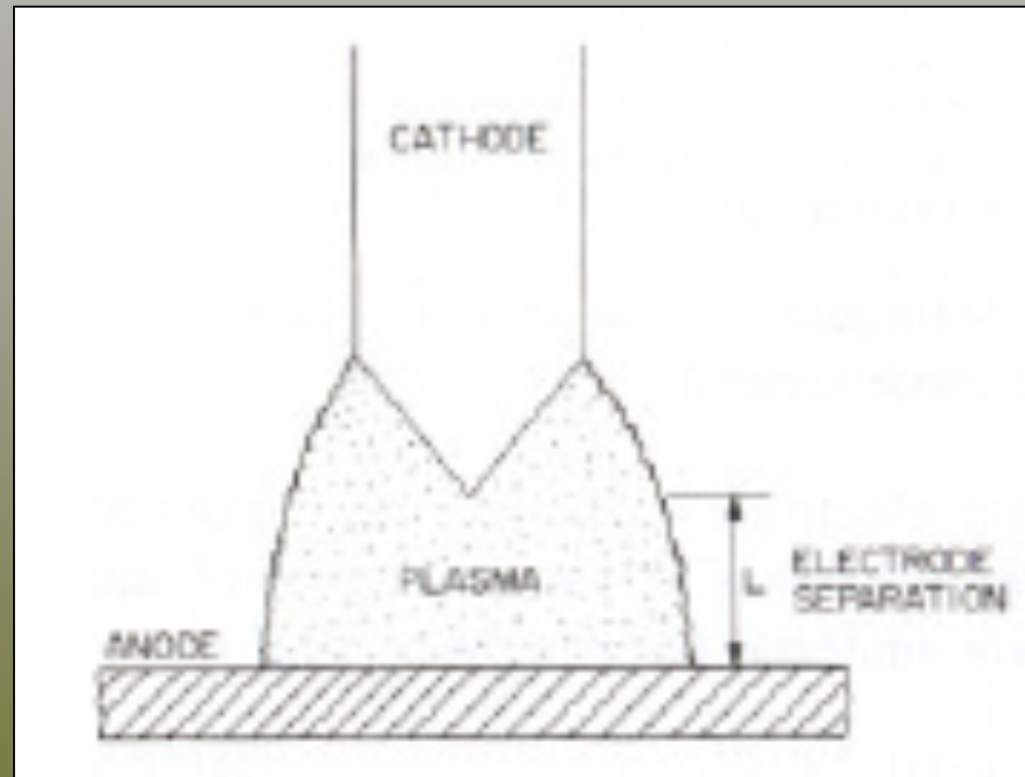
$$E = C_0 \frac{p^\alpha}{I^k} \quad (\text{V/m})$$

Efeito da atmosfera na descarga em arco com eletrodos de grafite

Gas	Hg	A	N ₂	Air	CO ₂	He	H ₂ O	H ₂
k	0.26	0.54	0.60	0.60	0.60	0.73	0.59	0.70
m	—	0.16	0.31	—	—	0.20	—	0.32

$$E = C_0 \frac{p^{\alpha}}{I^k} \quad (\text{V/m})$$

Arco térmico em argônio



Parâmetros do arco térmico

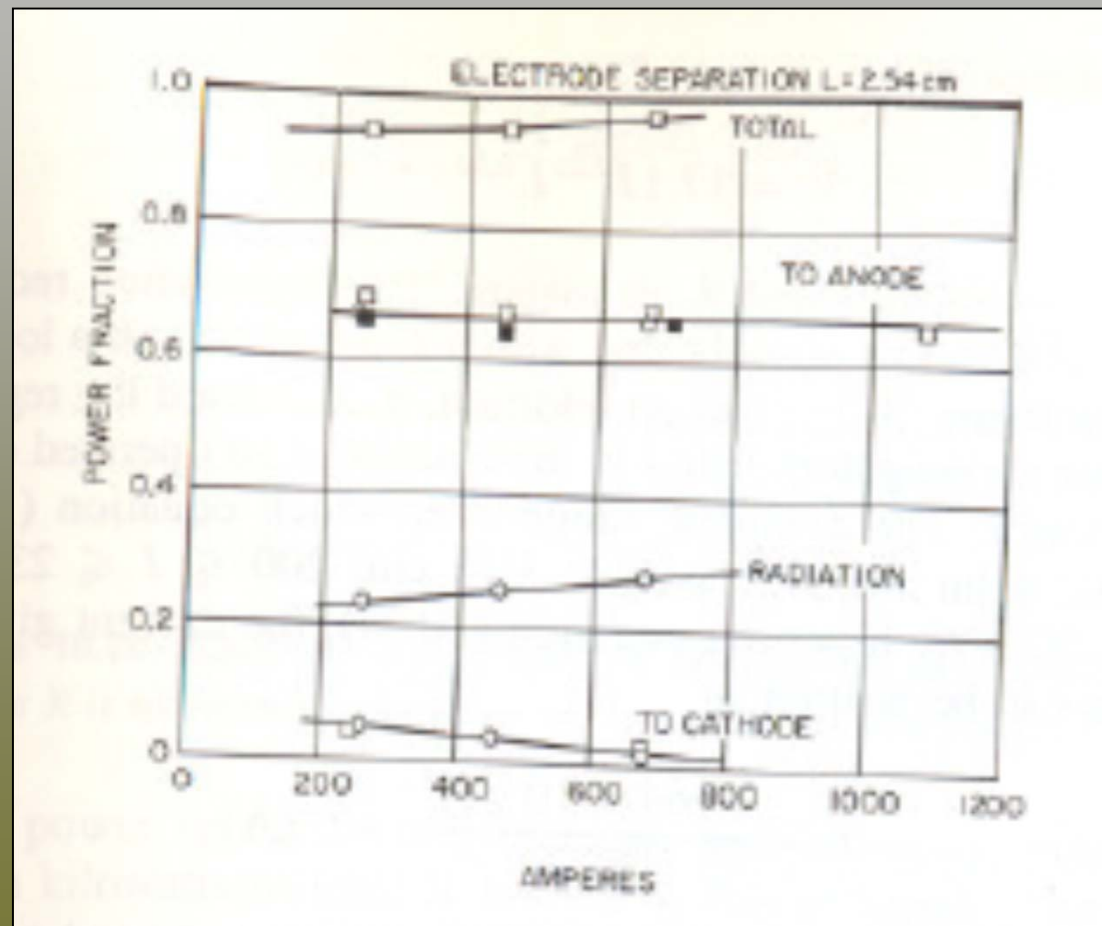
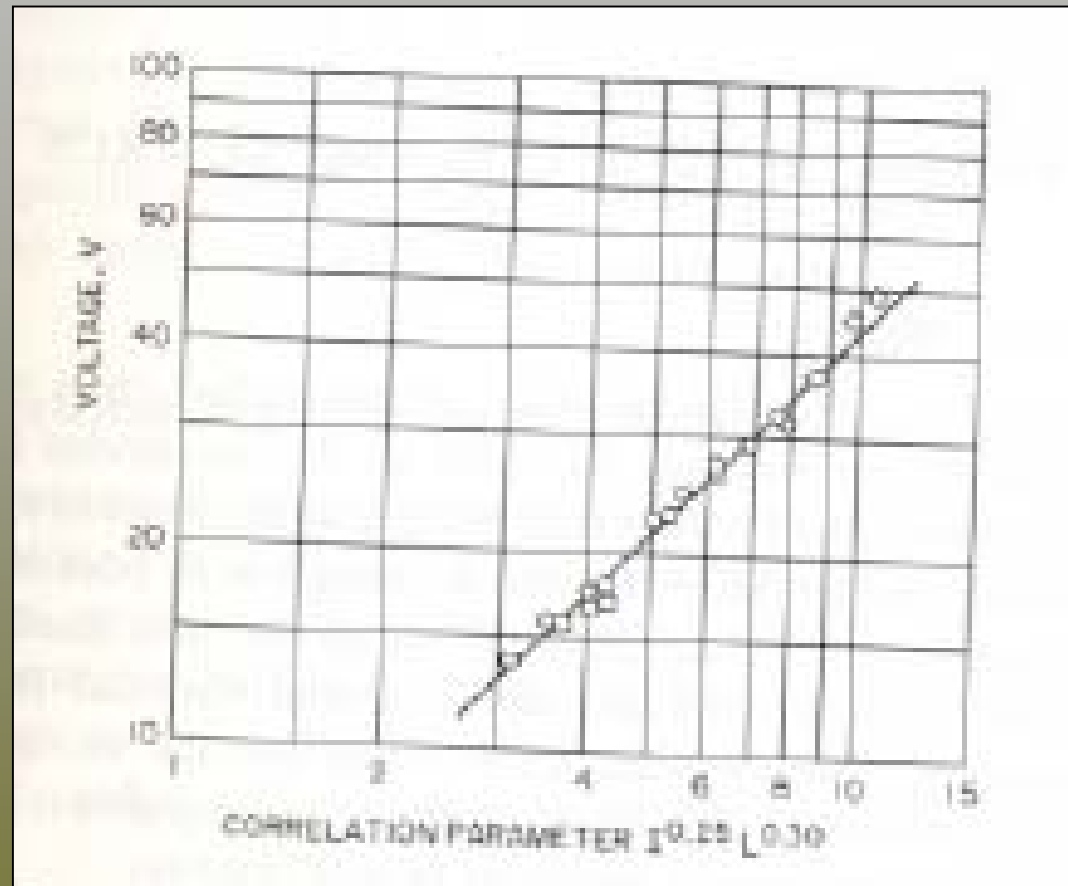


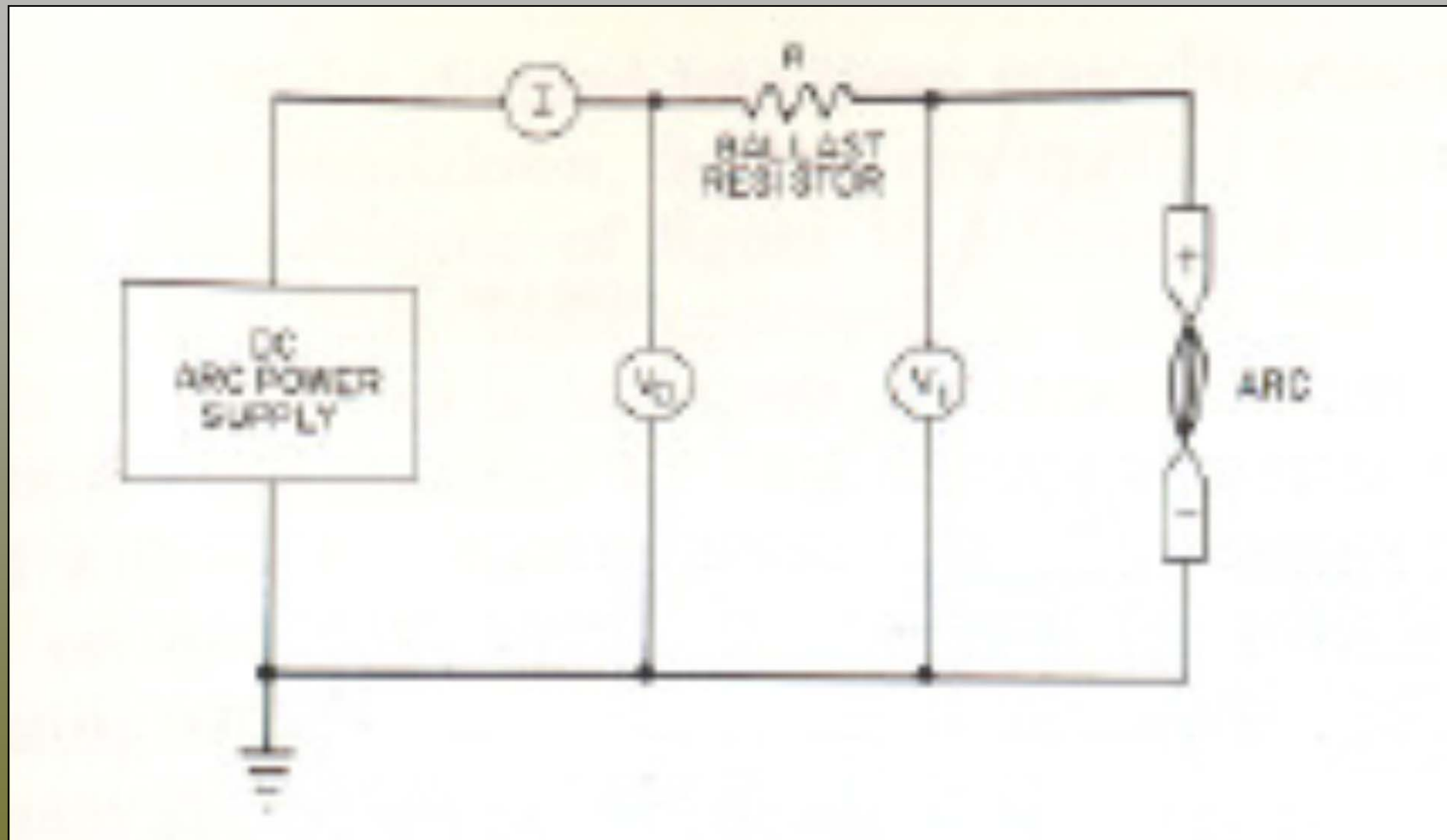
Diagrama tensão x corrente para o arco térmico



$$V = 17.1 I^{0.25} L^{0.30} \quad (\text{V})$$

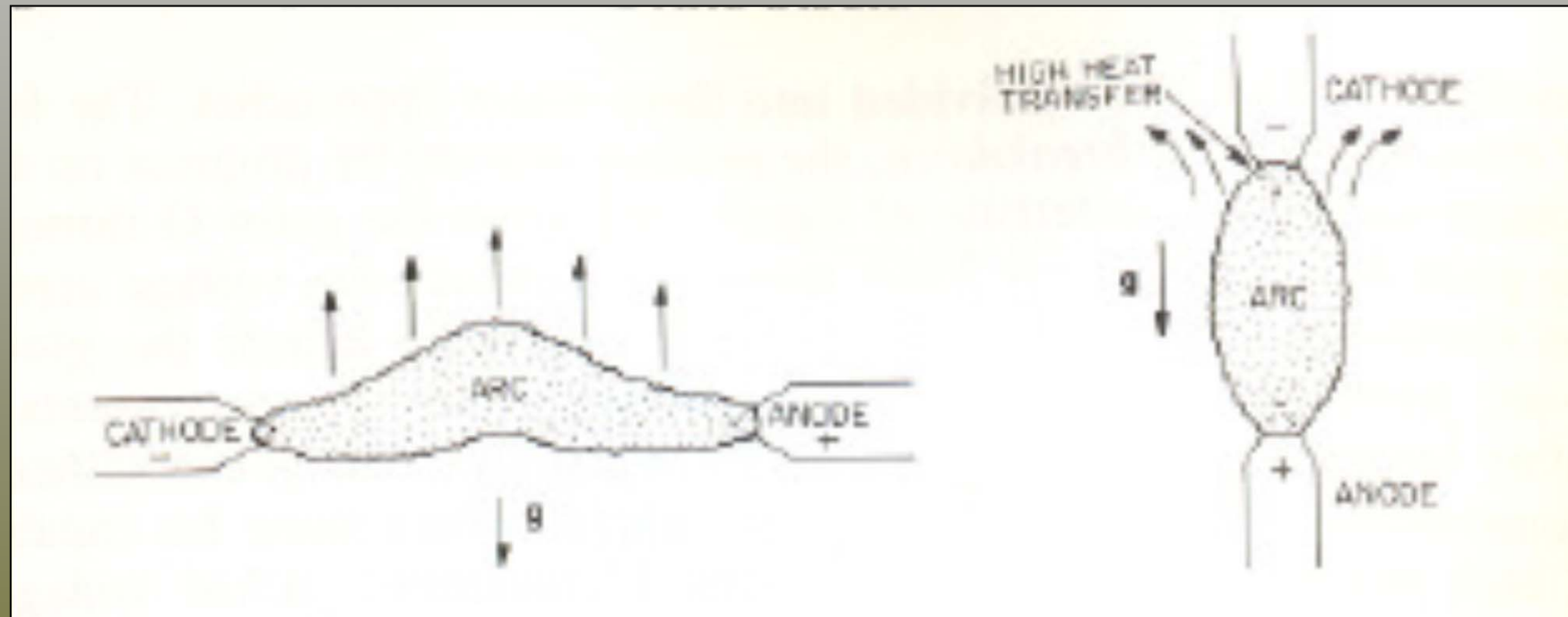
$$I = \frac{1.164 \times 10^{-5} V^4}{L^{1.2}} \quad (\text{A})$$

Circuito elétrico do sistema em arco

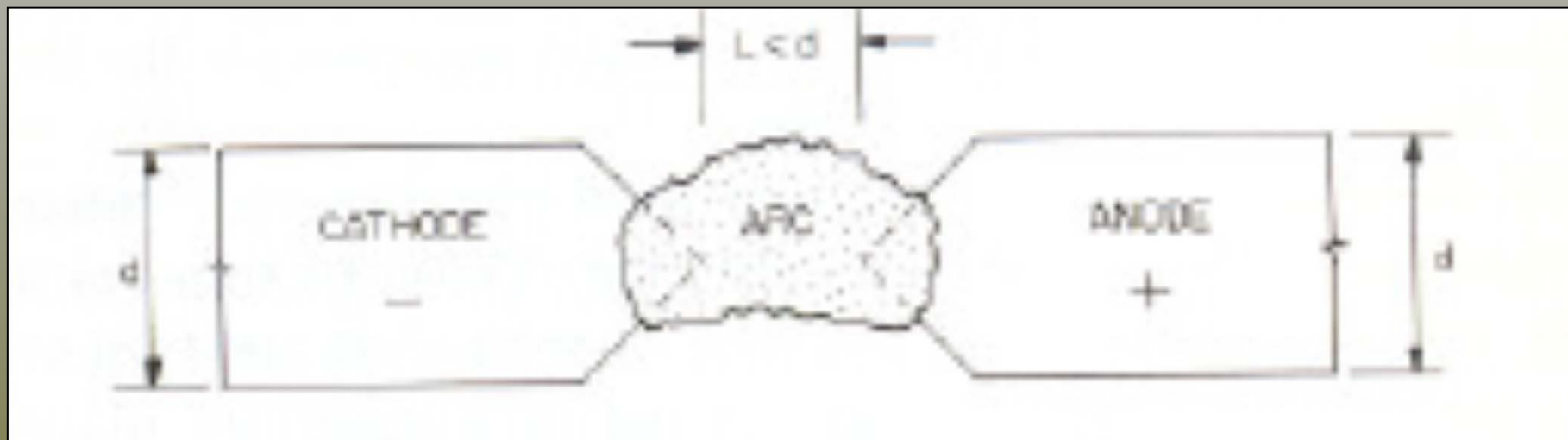


Tipos de sistema de arco

Arcos lineares

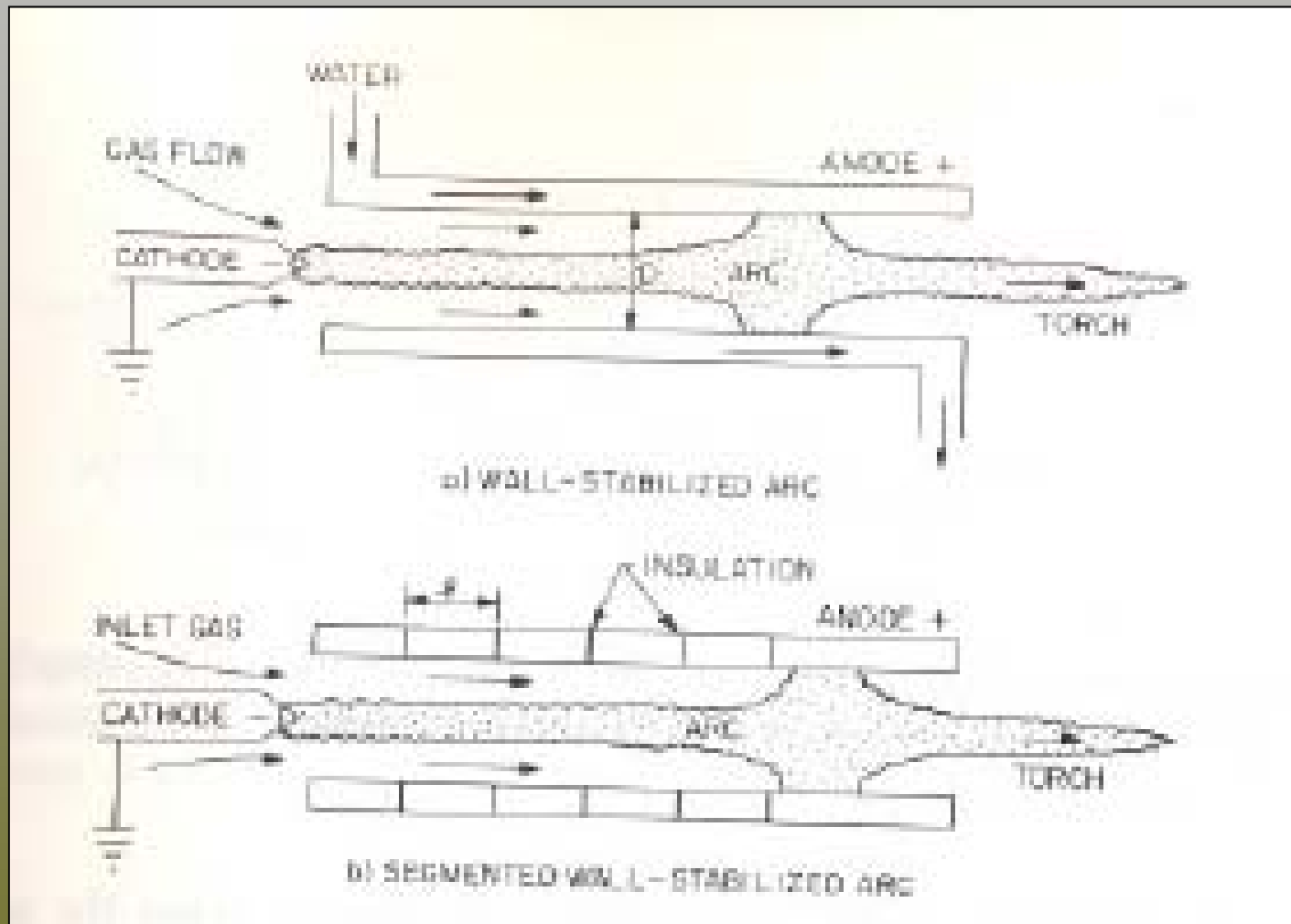


Arcos com obstrução

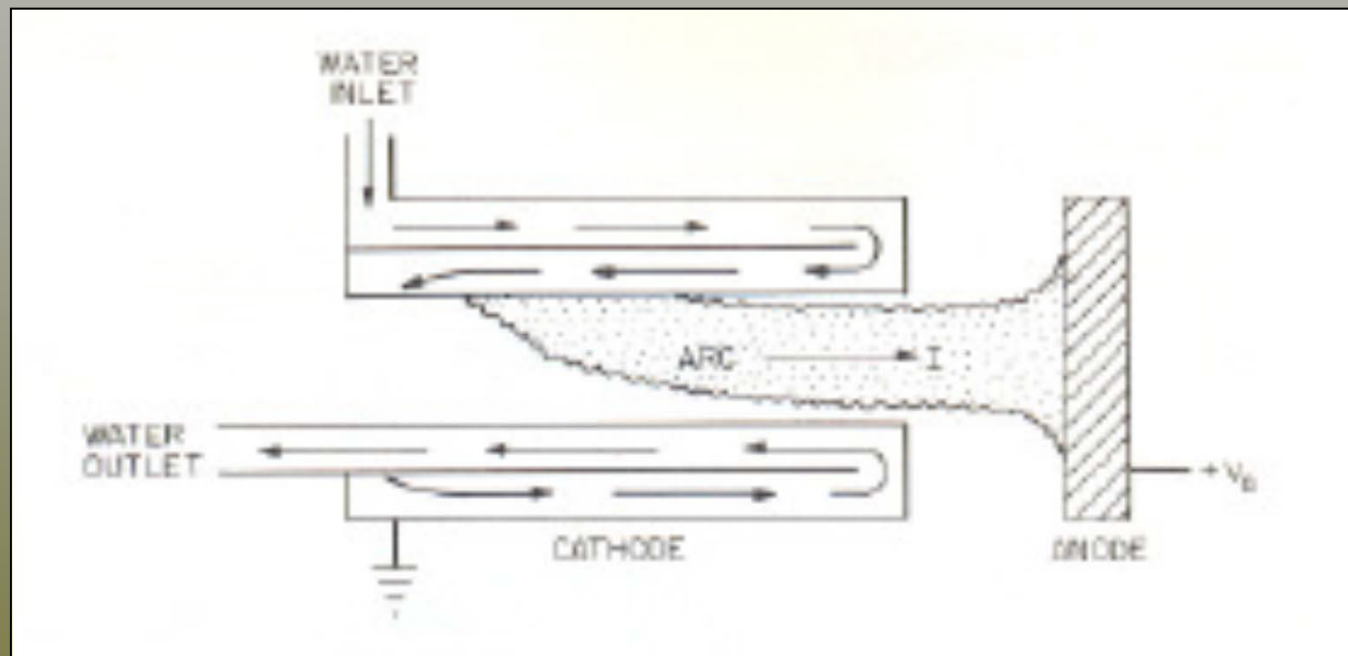


$L \geq 1\text{mm}$

Arco com paredes estabilizadas



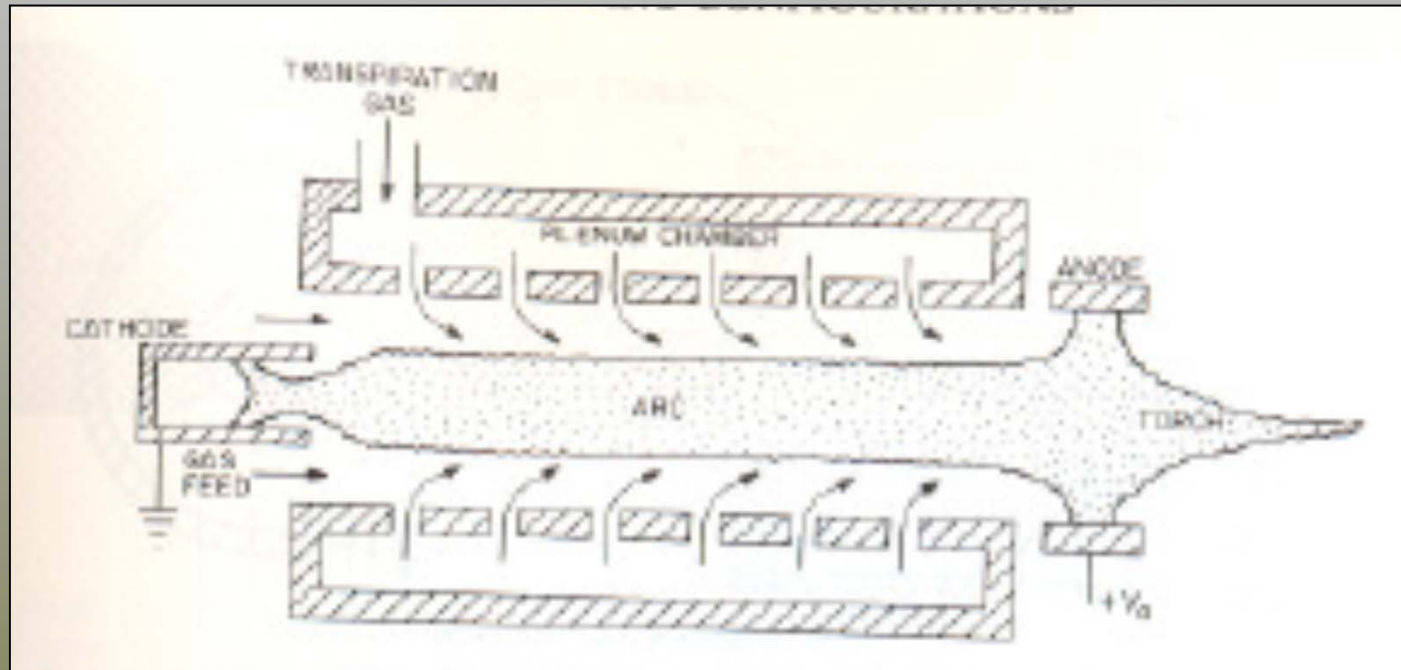
Sistema de arco transferido



Sistema de arco transferido

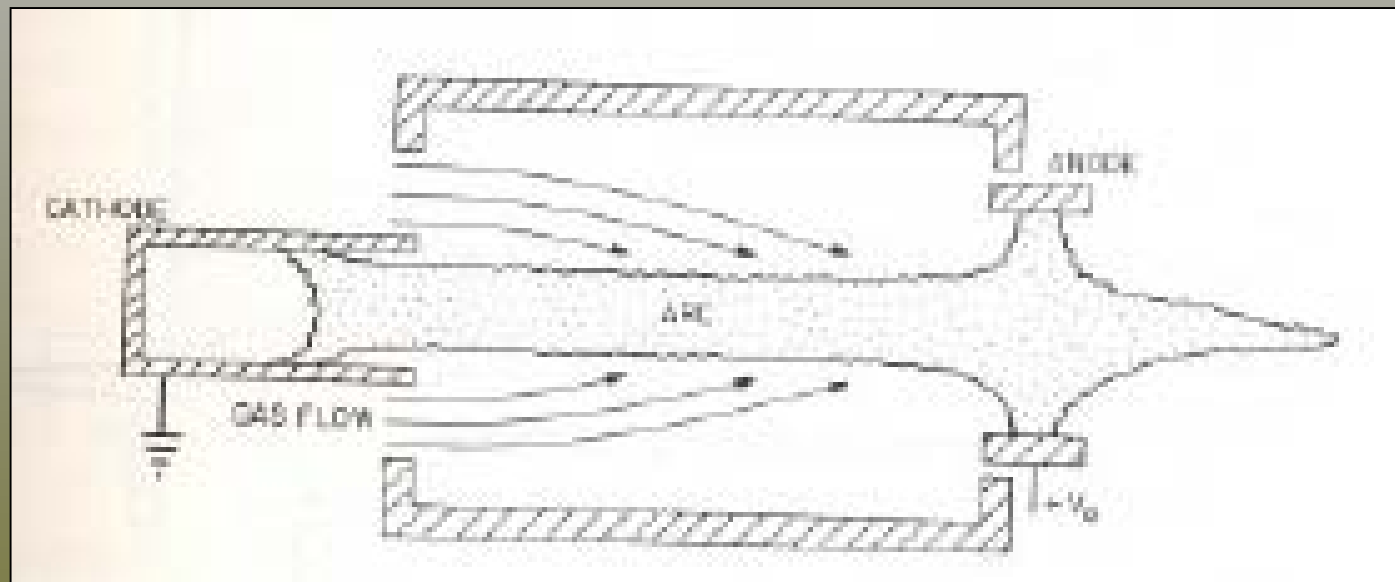
Este sistema ocorre no interior de um sistema do tipo Hollow catode, e a corrente da descarga ocorre entre o cilindro e um eletrodo externo.

Arco estabilizado por transpiração

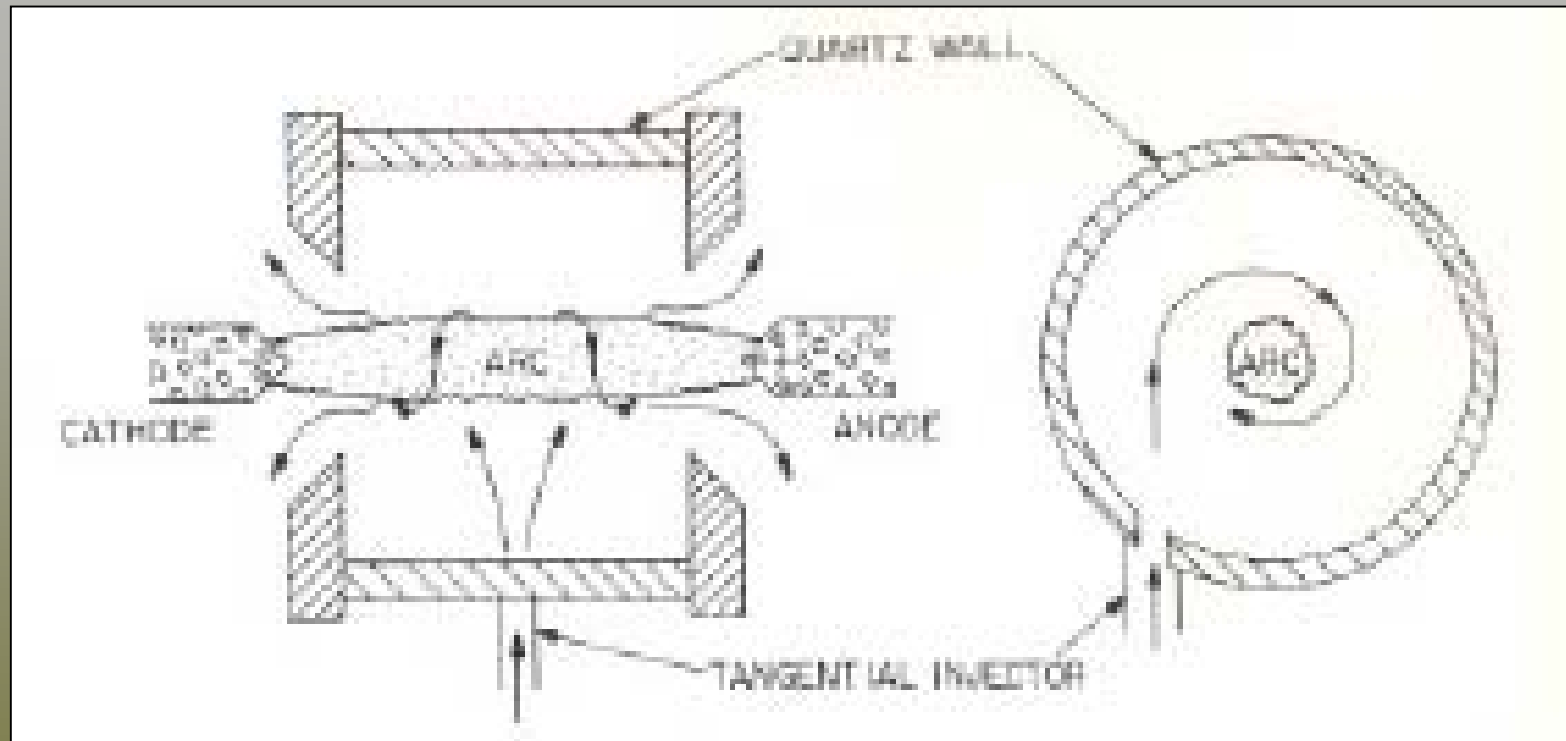


- Neste sistema a coluna do arco é mantida centralizada devido a injeção radial de água gelada ou gás.

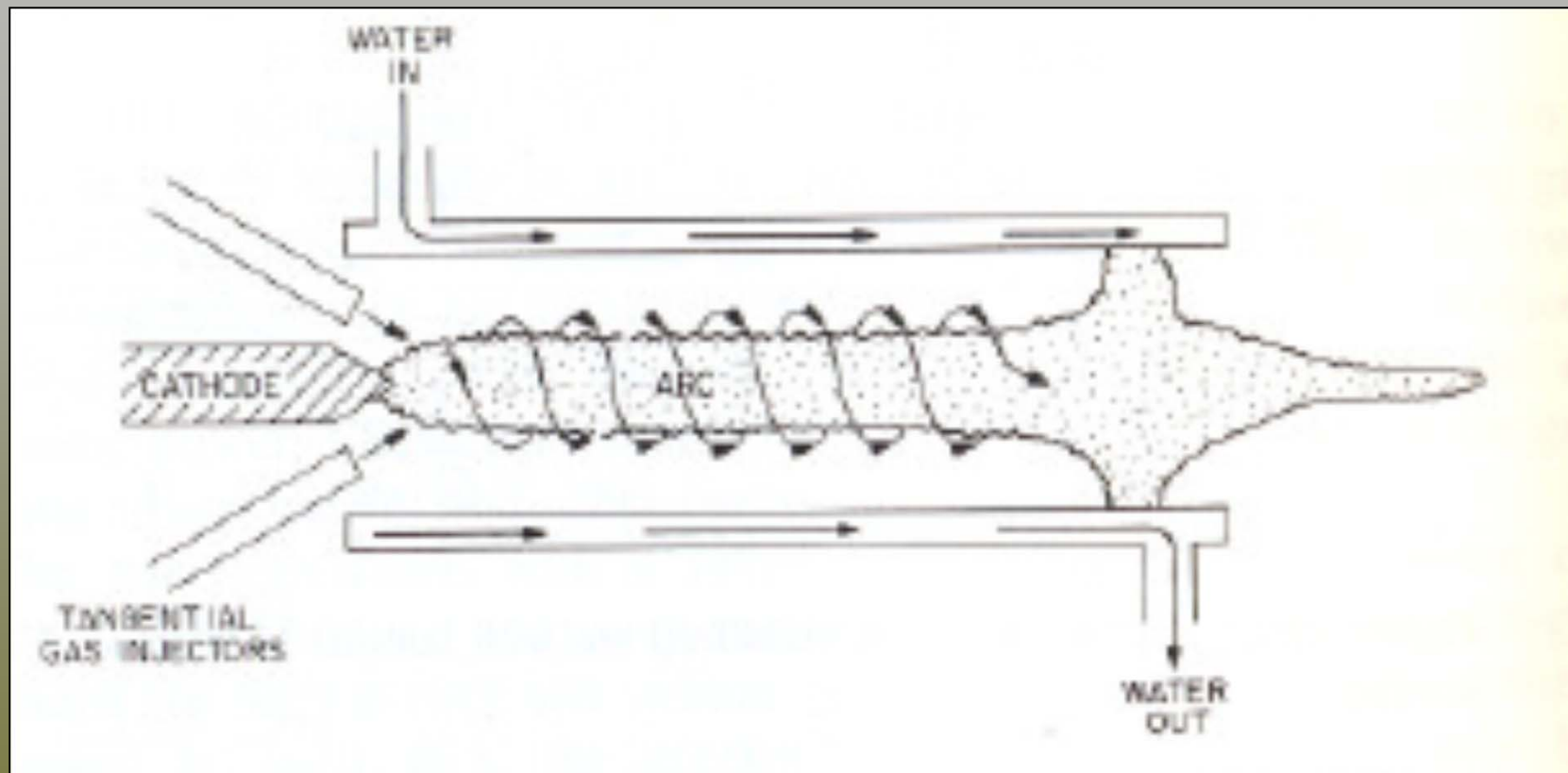
Arco coaxial estabilizado pela injeção de um fluxo laminar axial de gás.



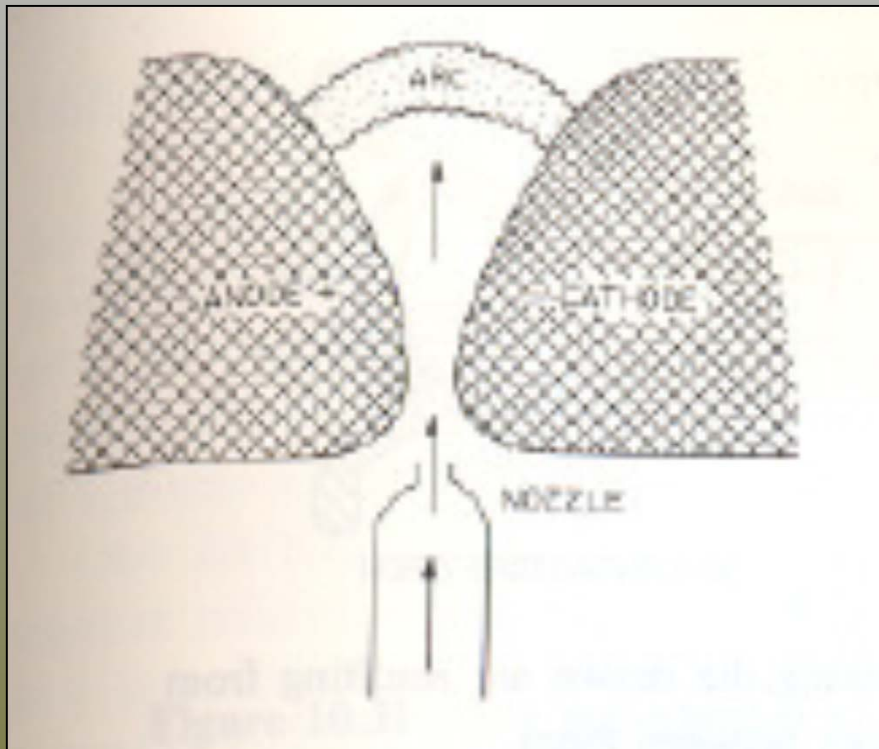
Sistema do tipo Vortex



Sistema do tipo Vortex axial

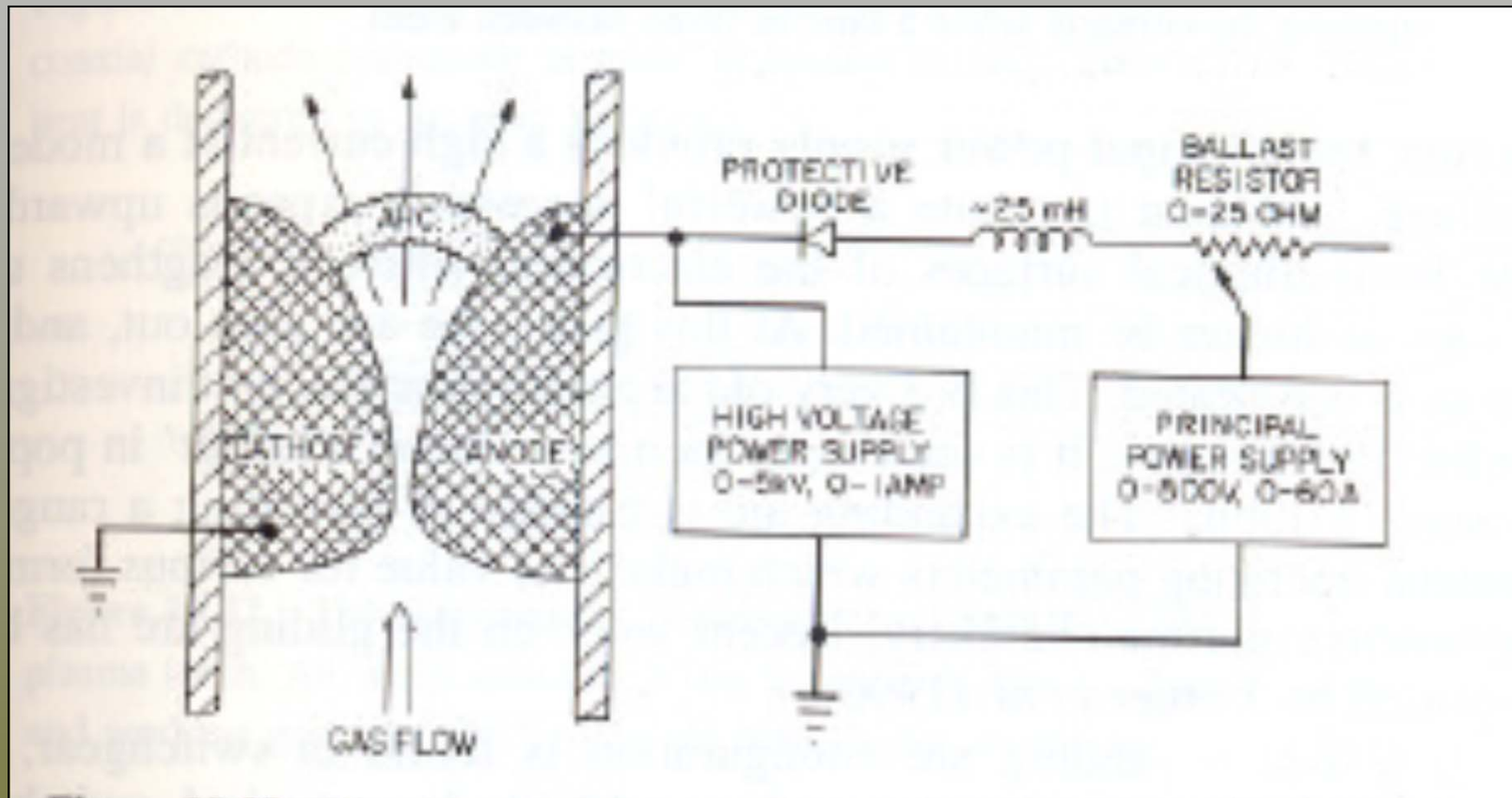


Arco em anel

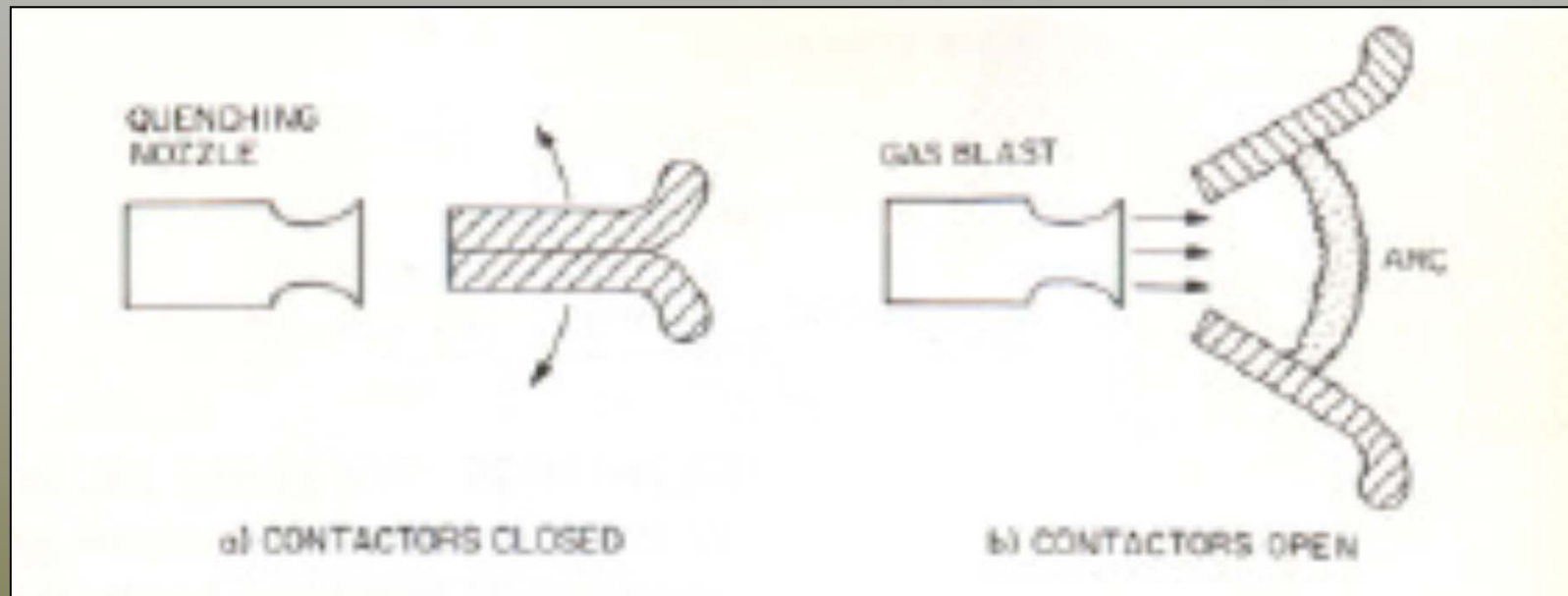


- Neste sistema o arco ocorre no gap entre os anéis.

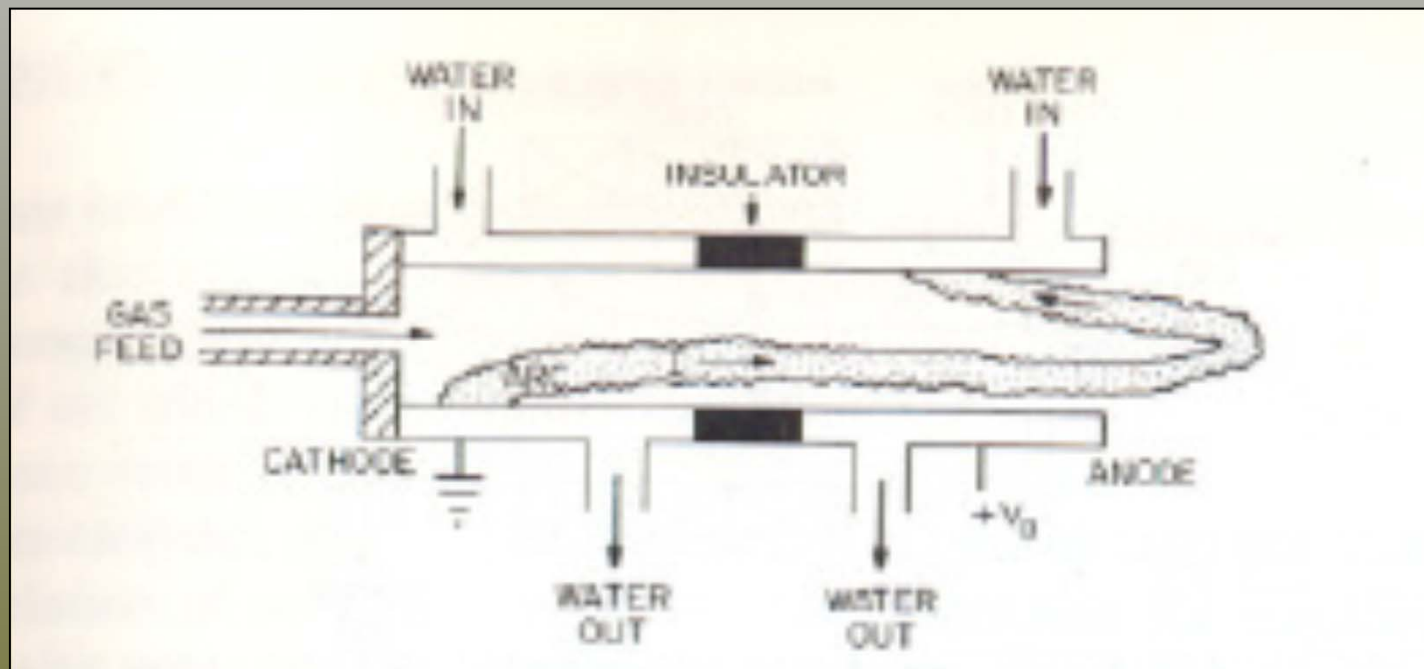
Fonte para descarg em arco



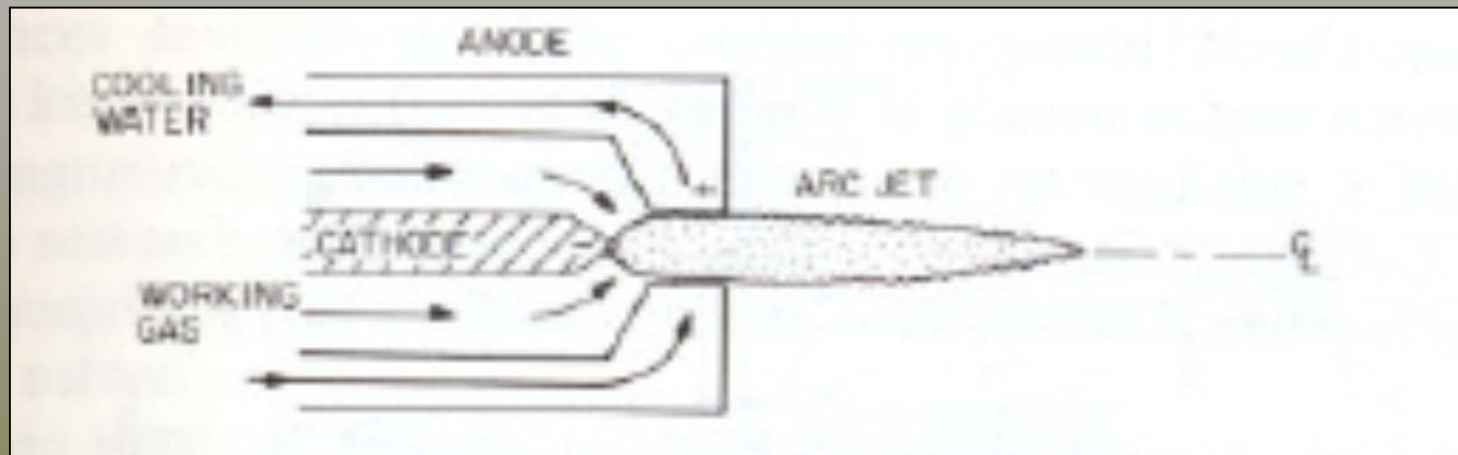
Arcos expandidos



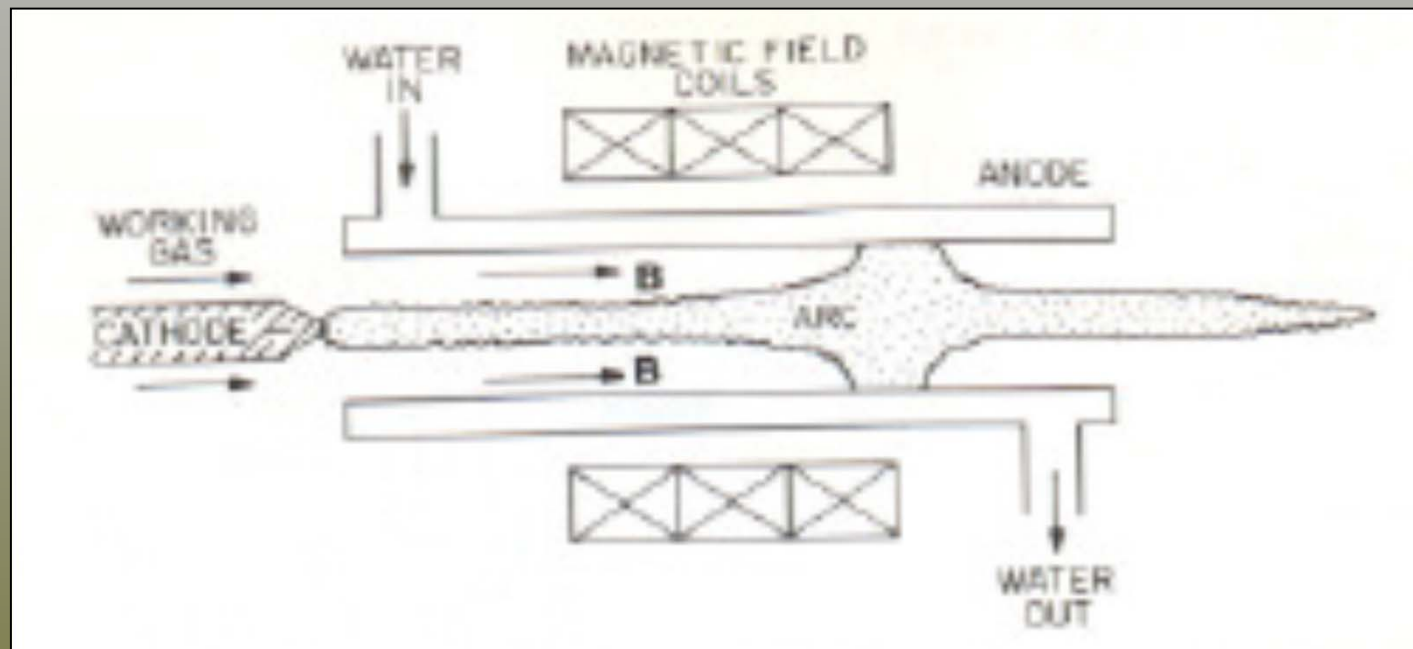
Sistema de arco não transferido



Sistema de arco não transferido (Tocha de plasma)



Arco rotativo



Tocha de plasma com estabilização magnética

