

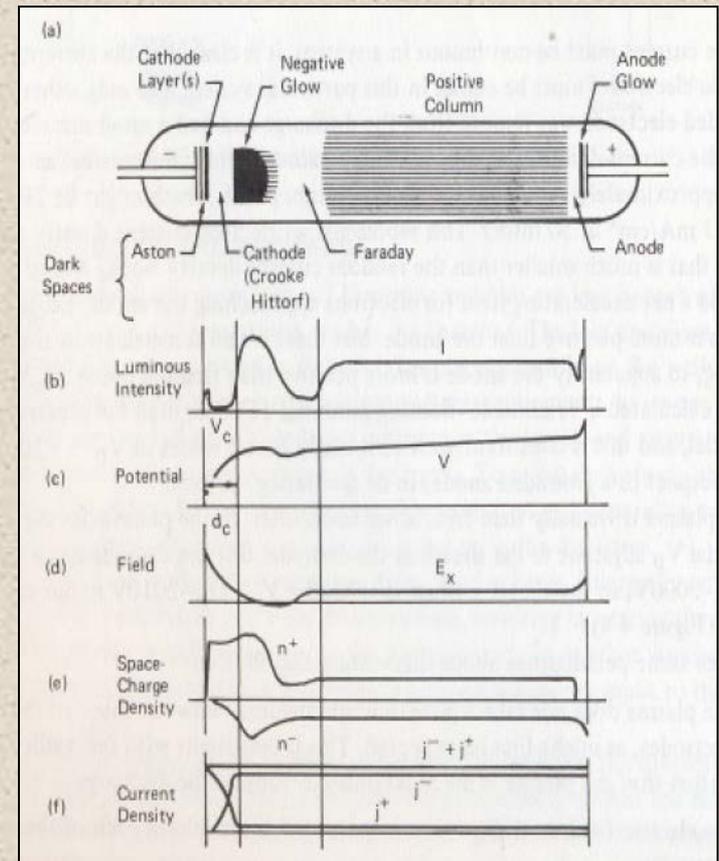
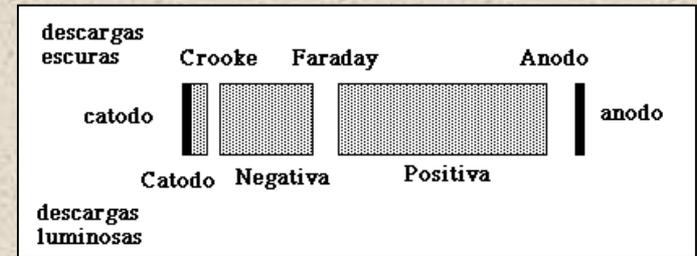
Descarga DC

Os parâmetros de plasma sempre foram observados em descargas DC, pela facilidade de identificação dos diversos regimes e regiões de transição. Diversos autores utilizaram descargas em tubos para espectroscopia de gases e observação de fenômenos gasosos. No entanto este sistema é extremamente rico para o estudo de plasmas.

Descarga DC

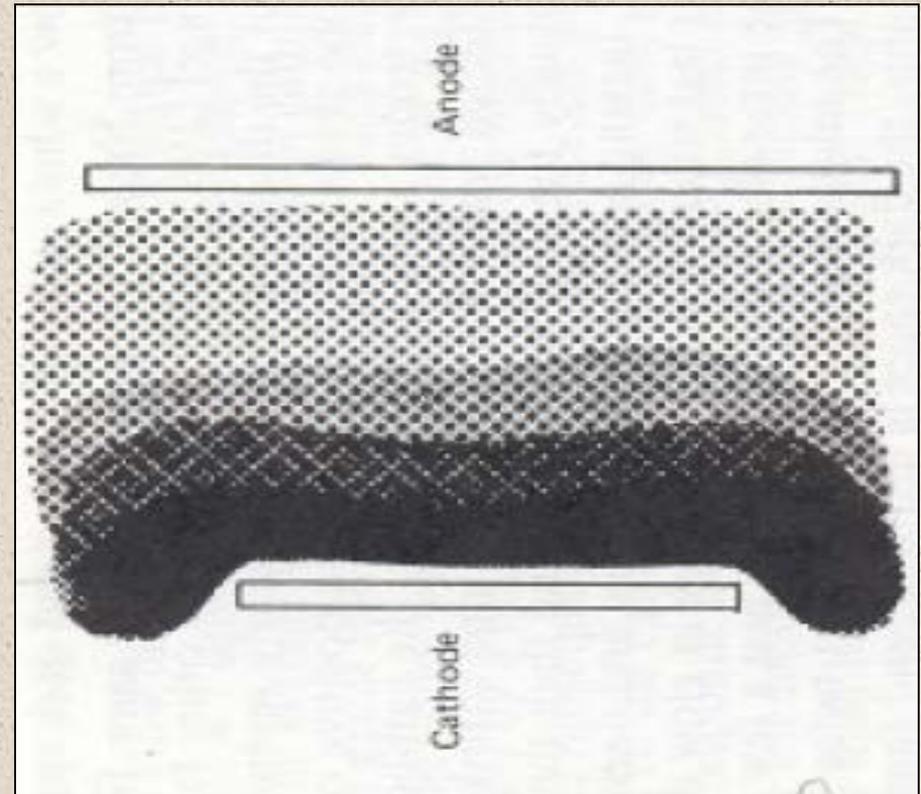
Descarga DC

Principais distribuições e regiões de uma descarga DC em neon em um tubo com pressão de 1 Torr.



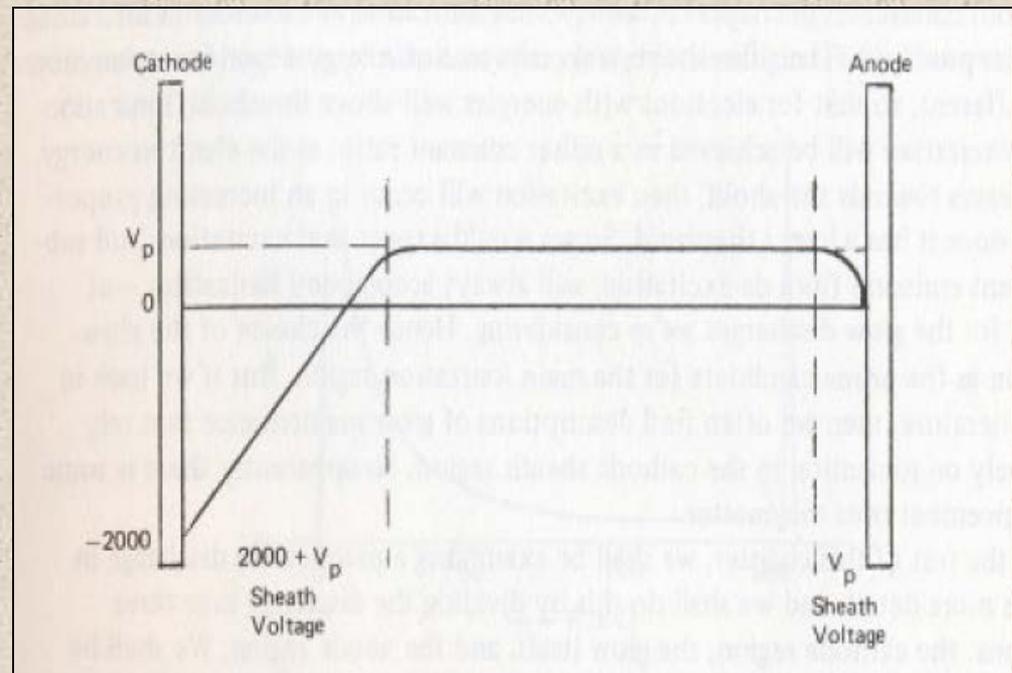
Reator DC

Em um reator de processos não é possível observar todas as regiões do plasma, mas podemos observar principalmente a bainha anódica, a bainha catódica e a coluna positiva.



Distribuição de potenciais

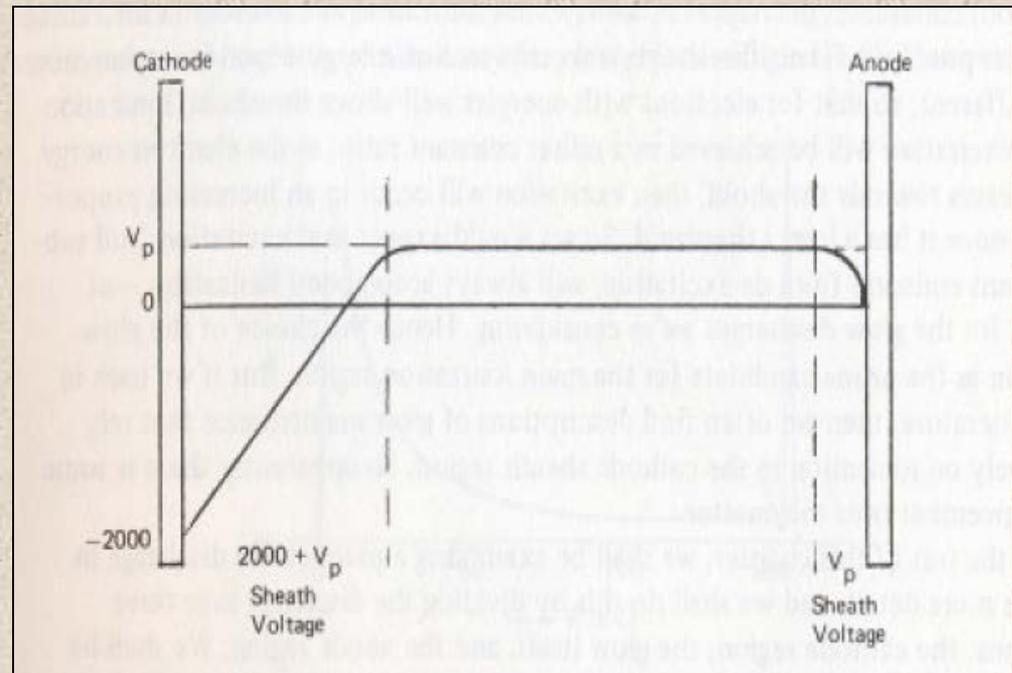
O plasma é quase neutro com isso o potencial de plasma é próximo a zero sendo positivo em seu corpo devido a difusão dos elétrons.



Distribuição de potenciais

Os campos elétricos são restritos as bainhas sobre cada eletrodo.

O potencial das bainhas é responsável pela repulsão dos elétrons e dos íons.

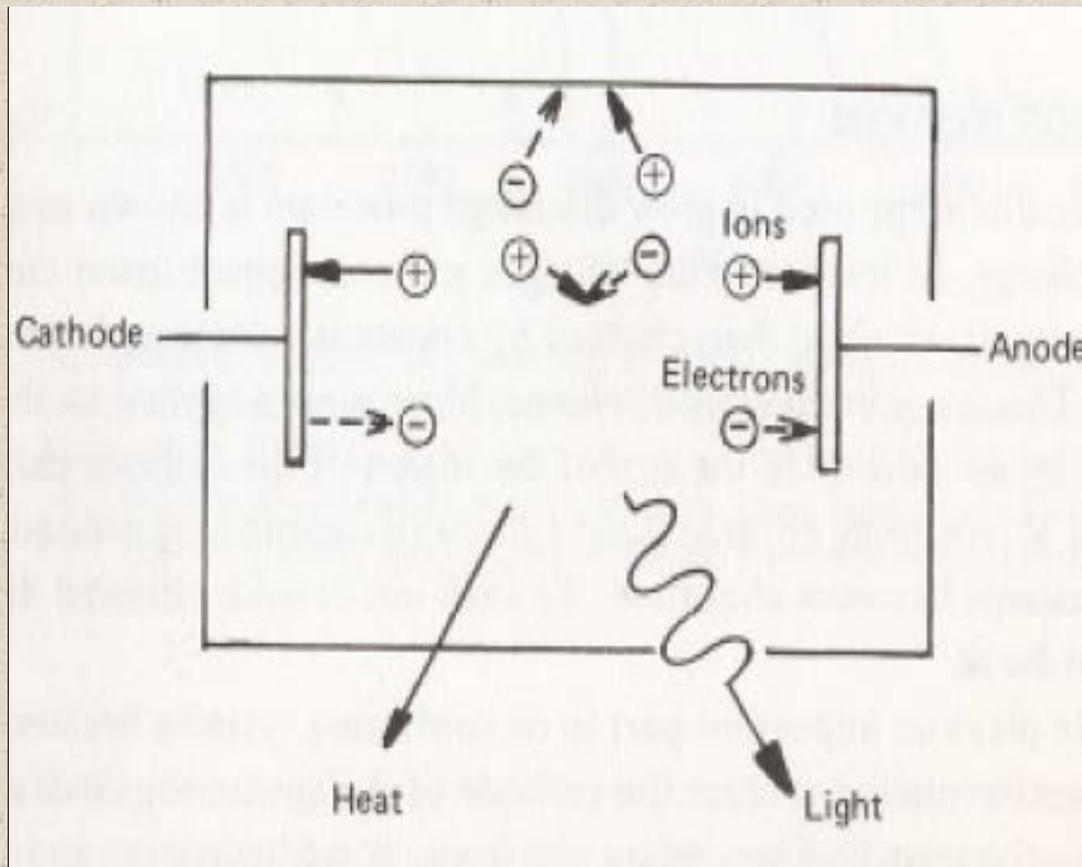


Manutenção da descarga

A descarga elétrica se mantém após a geração devido a diversos fatores. Entre eles podemos destacar a emissão de elétrons secundários.

- a) *Bombardeamento eletrônico;*
- b) *Bombardeamento iônico;*
- c) *Bombardeamento por partículas neutras;*
- d) *Efeito fotoelétrico.*

Manutenção da descarga



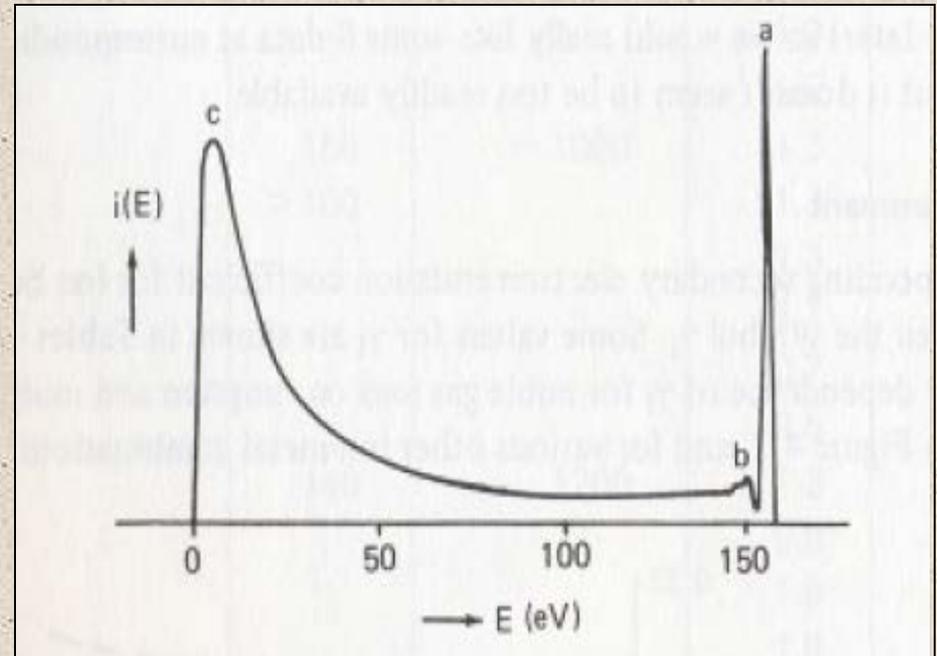
Bombardeamento eletrônico

Bombardamento eletrônico

A emissão de elétrons secundários é um ramo muito estudado da física devido a sua aplicação em diversos equipamentos, tubo de raios catódicos, válvulas, fotomultiplicadoras etc. Este fenômeno é principalmente devido a transferência de carga entre a partícula carregada e o material da superfície que sofreu o choque.

Bombardamento eletrônico

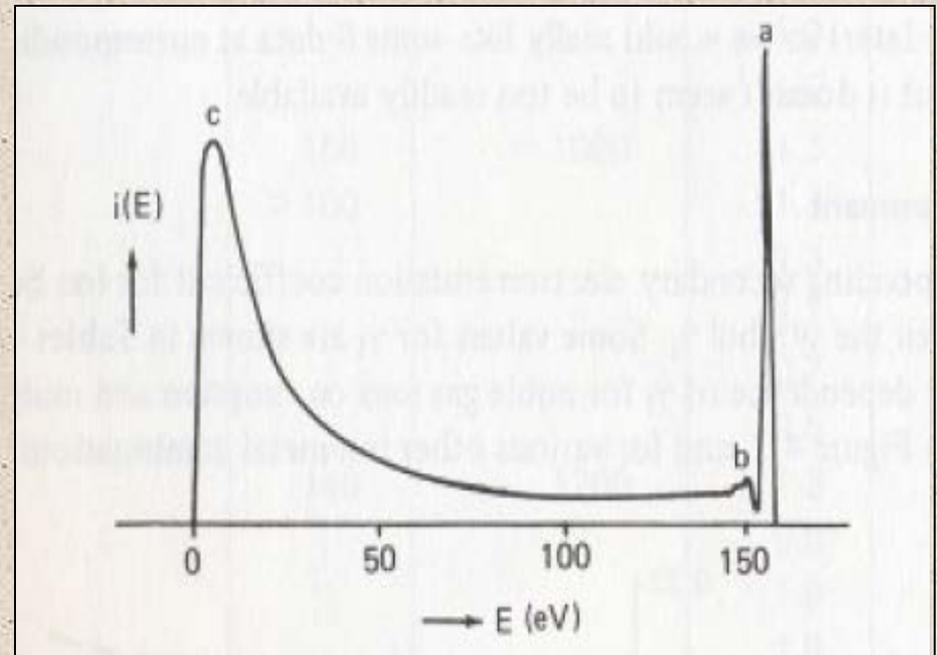
No choque de elétrons em superfícies, pode ocorrer o espalhamento elástico e inelástico dos elétrons e somente uma pequena porcentagem dos elétrons emitidos são elétrons secundários.



Bombardamento eletrônico

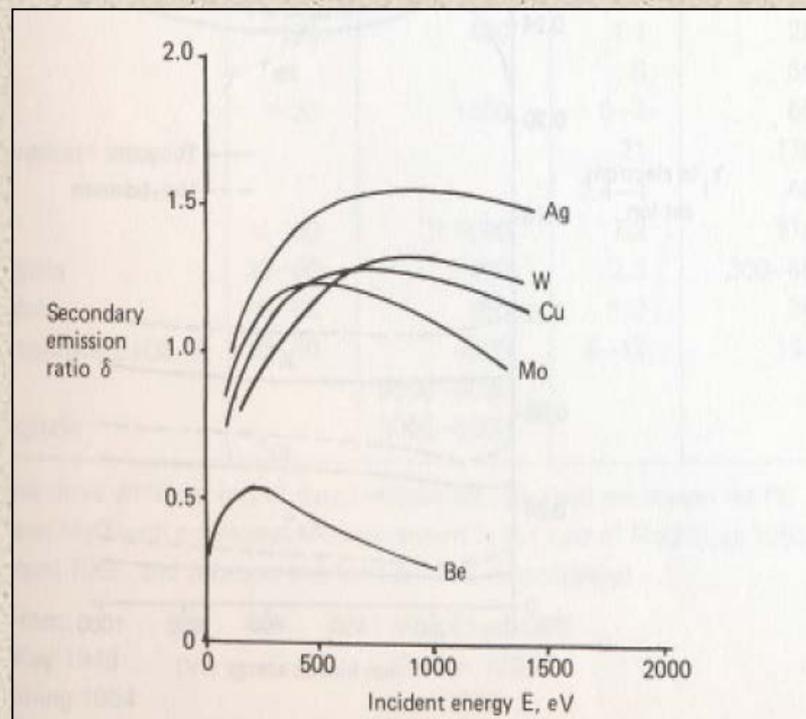
Distribuição de elétrons secundários emitidos por um eletrodo revestido com prata.

- (a) *elétrons espalhados elásticamente,*
- (b) *elétrons espalhados inelásticamente,*
- (c) *verdadeiros elétrons secundários.*



Coeficiente de emissão

Coeficiente de emissão de elétrons secundários para diferentes metais em função da energia dos elétrons incidentes.



Coeficiente de emissão

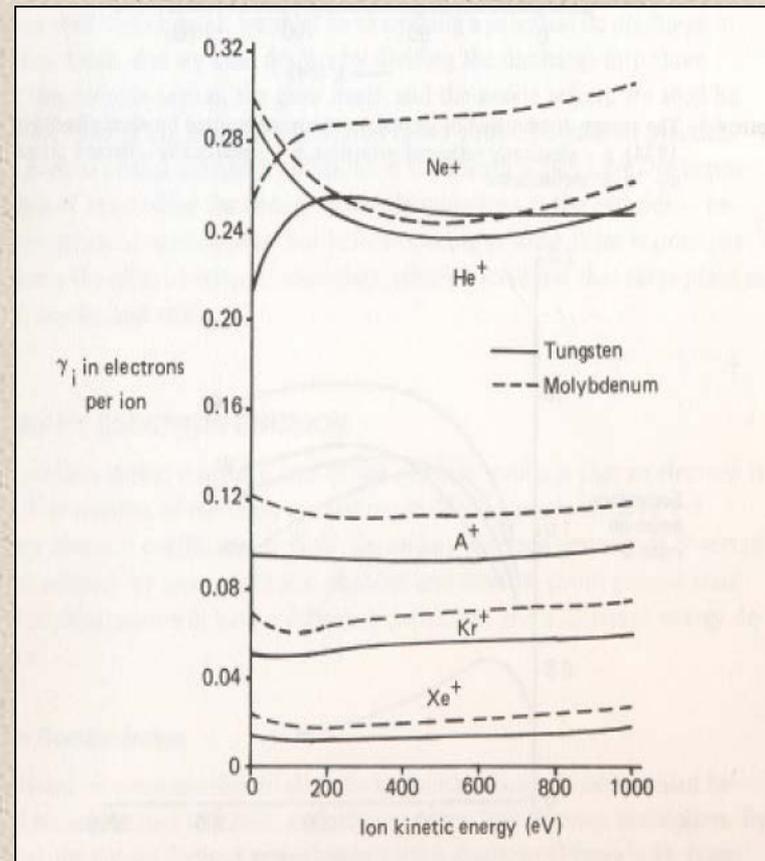
Coeficiente de emissão de elétrons secundários para diferentes materiais em função da energia dos elétrons incidentes.

| | $\delta = 1$ at | | δ_{\max} | Energy (eV) for δ_{\max} |
|----------------------|-----------------|-----------|-----------------|------------------------------------|
| | V eV | V' eV | | |
| Ag | | | 1.5 | 800 |
| Al | | | 1.0 | 300 |
| Au | | | 1.5 | 800 |
| C | 160 | ~ 1000 | 1.3 | 600 |
| Cu | > 100 | | 1.3 | 600 |
| Fe | | | 1.3 | 350 |
| Ge | | | 1.1 | 400 |
| K | | | 0.7 | 200 |
| Li | | | 0.5 | 85 |
| Mo | 140 | 1200 | 1.3 | 350 |
| Na | | | 0.8 | 300 |
| Pt | | | 1.6 | 800 |
| Pt | | | 1.8 | 800 |
| Pt | 150 | > 2000 | 1.8 | 800 |
| Si | | | 1.1 | 250 |
| W | | | 1.5 | 500 |
| Zn | 100 | 400 | 1.1 | 200 |
| NaCl | | | 6 | 600 |
| NaCl | ~ 20 | 1400 | 6-7 | 600 |
| MgO (vacuum cleaved) | | | 21 | 1100 |
| MgO | | | 2.4-4 | 400 |
| MgO | < 100 | > 5000 | 7.2 | 1100 |
| Pyrex glass | 30-50 | 2400 | 2.3 | 300-400 |
| Soda glass | 30-50 | 900 | ~ 3 | 300 |
| Oxide cathode BaOSrO | 40-60 | 3500 | 5-12 | 1400 |
| ZnS | | 6000-9000 | | |
| Ca tungstate | | 3000-5000 | | |

Bombardeamento iônico

Coeficiente de emissão

Coeficiente de emissão de elétrons secundários para diferentes íons de gases nobres para eletrodos de tungstênio e de molibidênio.



Coeficiente de emissão

Coeficiente de emissão de elétrons secundários para íons de argônio para diferentes materiais de eletrodo.

| | Ion Energy | | |
|----------|------------|--------|---------|
| | 10 eV | 100 eV | 1000 eV |
| Mo | 0.122 | 0.115 | 0.118 |
| W | 0.096 | 0.095 | 0.099 |
| Si (100) | 0.024 | 0.027 | 0.039 |
| Ni (111) | 0.034 | 0.036 | 0.07 |
| Ge (111) | 0.032 | 0.037 | 0.047 |

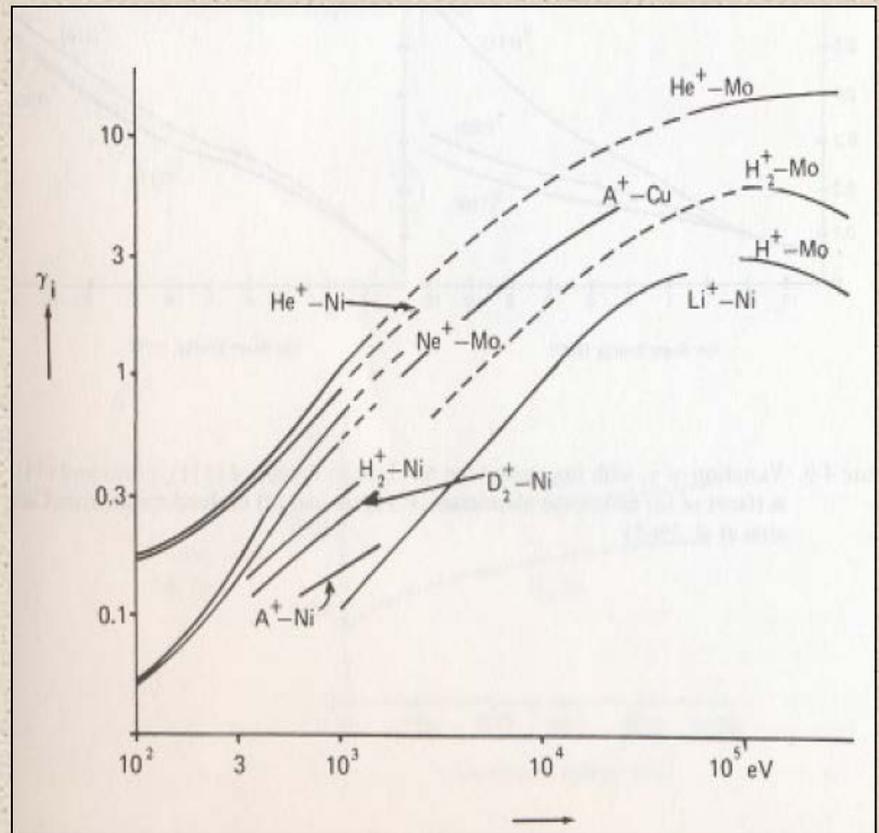
Coeficiente de emissão

Coeficiente de emissão de elétrons secundários para íons leves para diferentes materiais de eletrodo.

| Metal | Ar | H ₂ | Air | N ₂ | Ne | |
|-------|-------|----------------|-------|----------------|-------|-------|
| Al | 0.12 | 0.095 | 0.021 | 0.10 | 0.053 | |
| Ba | 0.14 | ..... | 0.100 | ..... | 0.14 | |
| C | ..... | 0.014 | | | | |
| Cu | 0.058 | 0.050 | ..... | 0.025 | 0.066 | |
| Fe | 0.058 | 0.061 | 0.015 | 0.020 | 0.059 | 0.022 |
| Hg | ..... | 0.008 | 0.020 | | | |
| K | 0.22 | 0.22 | 0.17 | 0.077 | 0.12 | 0.22 |
| Mg | 0.077 | 0.125 | 0.031 | 0.038 | 0.089 | 0.11 |
| Ni | 0.058 | 0.053 | 0.019 | 0.036 | 0.077 | 0.023 |
| Pt | 0.058 | 0.020 | 0.010 | 0.017 | 0.059 | 0.023 |
| W | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | 0.045 |

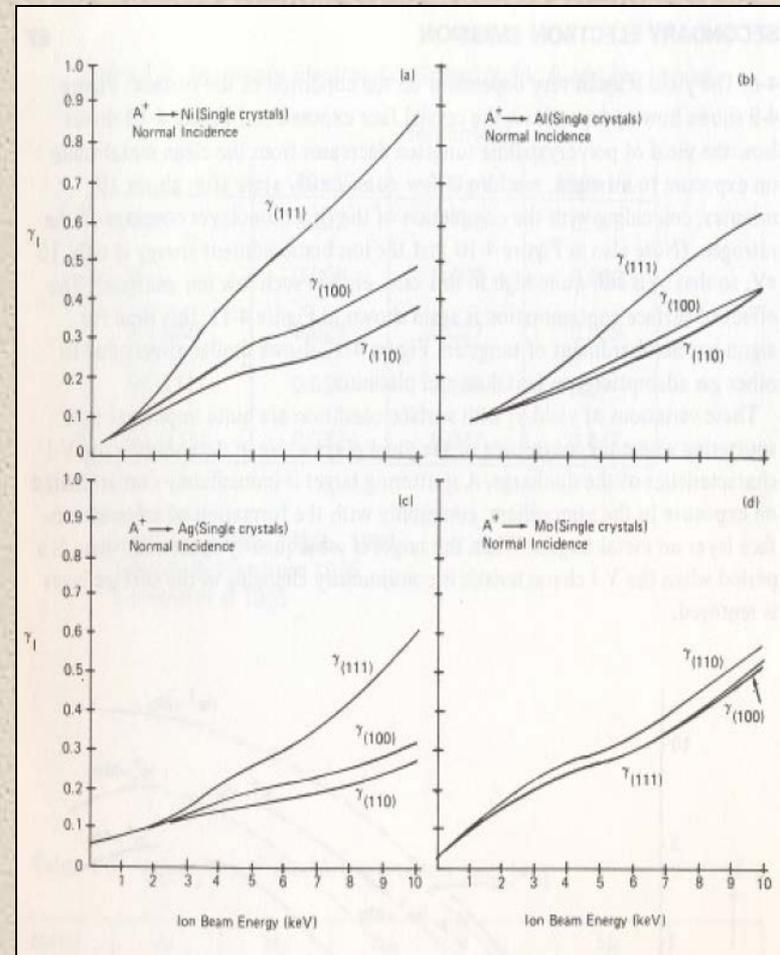
Coeficiente de emissão

Coeficiente de emissão de elétrons secundários em função da energia dos íons incidentes para diferentes materiais de eletrodo.



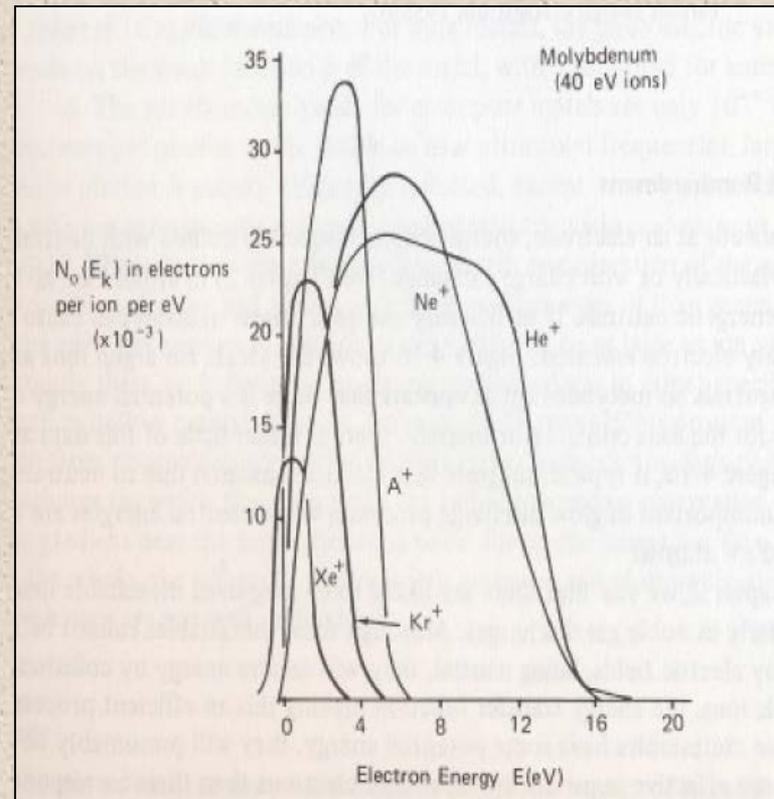
Coeficiente de emissão

Variação do coeficiente de emissão de elétrons secundários para íons de argônio em função da orientação cristalográfica para diferentes materiais de eletrodo.



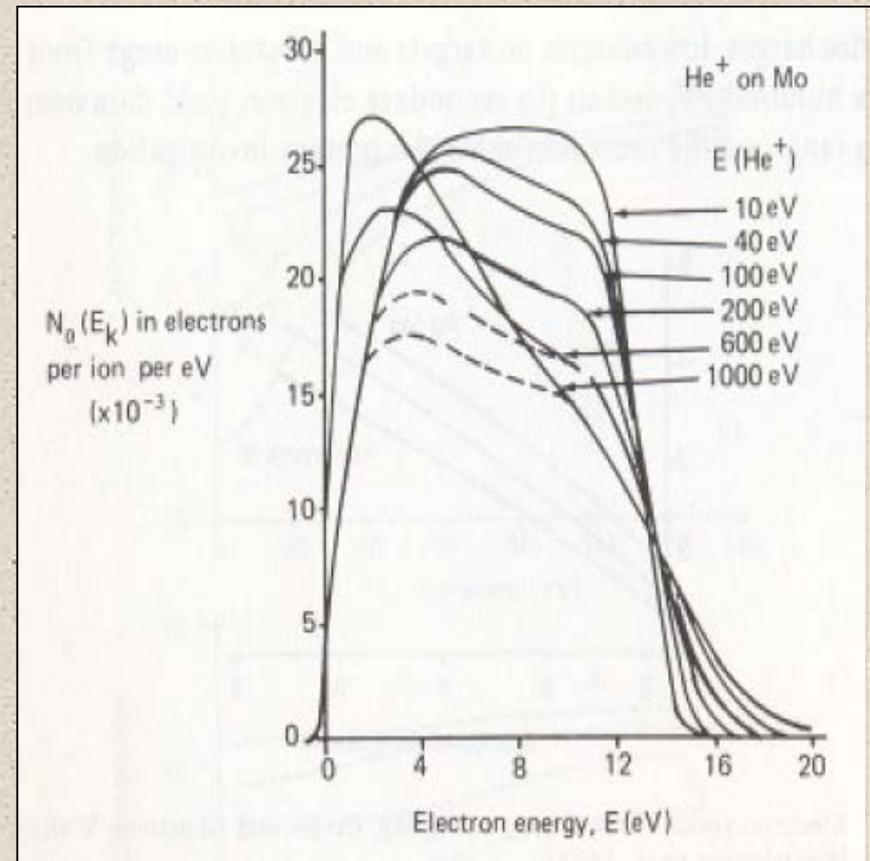
Energia dos elétrons secundários

Distribuição de energia dos elétrons secundários emitidos por um eletrodo de molibidênio em função dos íons incidentes.



Energia dos elétrons secundários

Distribuição de energia dos elétrons secundários emitidos por um eletrodo de molibidênio em função da energia dos íons incidentes de Hélio.



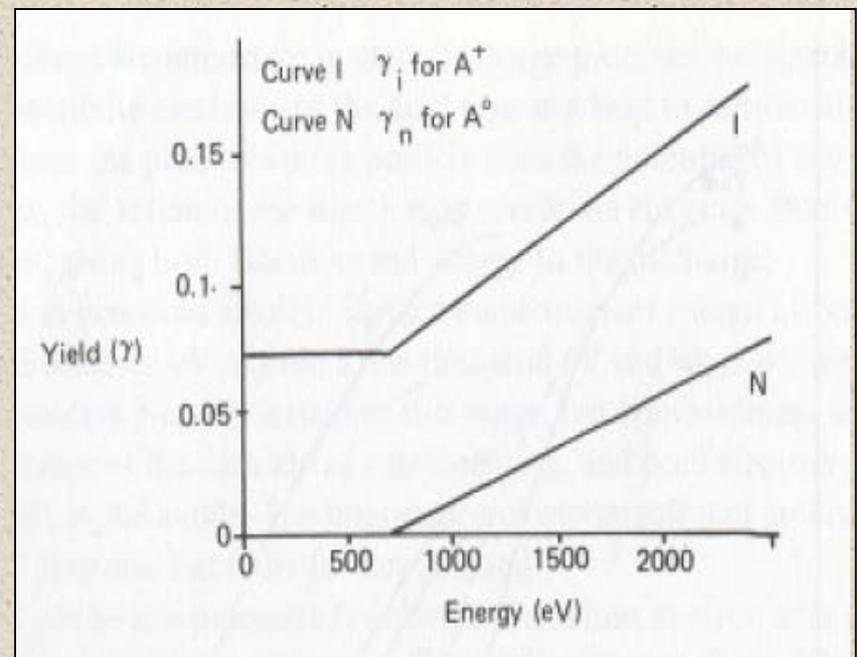
*Bombardamento por partículas
neutras*

Bombardamento por partículas neutras

As partículas neutras podem apresentar energia cinética devido a choques com íons na região da bainha, com um processo balístico. Essa energia pode ser transferida para o material do eletrodo promovendo a emissão de elétrons secundários.

Emissão de elétrons secundários

Emissão de elétrons secundários por um eletrodo de molibidênio em função do choque de íons e de partículas neutras (íons e átomos de argônio).



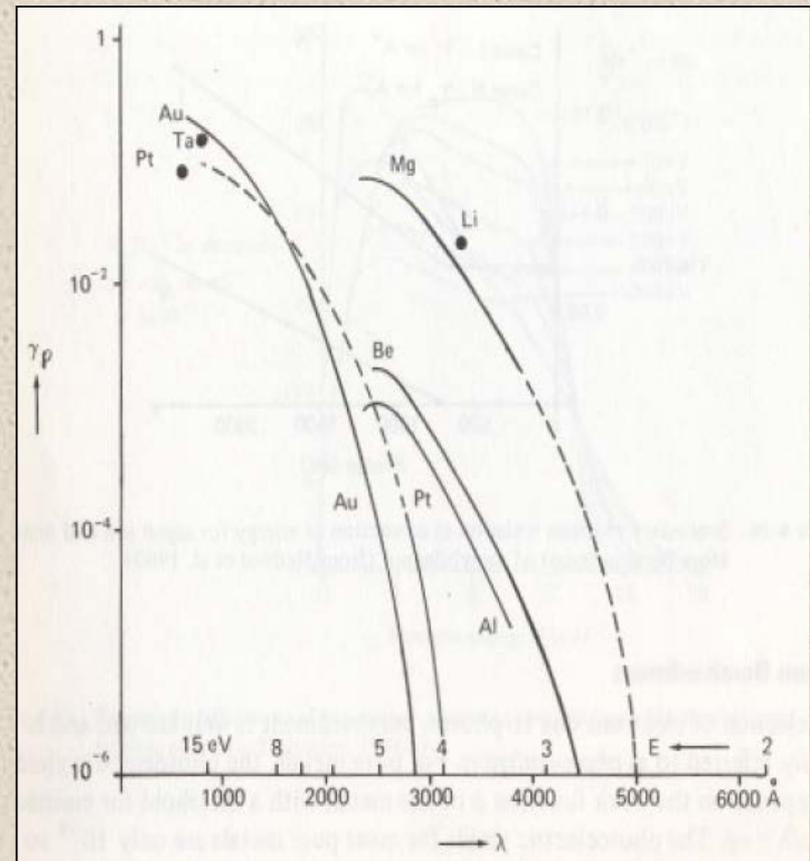
Efeito fotoelétrico

Efeito fotoelétrico

A emissão de elétrons por efeito fotoelétrico é muito bem conhecida e caracterizada para diversas aplicações, esta propriedade é também conhecida por fotoemissão. Para metais puros a eficiência de emissão depende da função trabalho do material e esta entre 10^{-4} e 10^{-3} elétrons por fóton de luz ultravioleta.

Efeito fotoelétrico

Eficiência da emissão de elétrons secundários por efeito fotoelétrico em função do comprimento de onda para diversos metais de catodo.



Regiões da descarga

Regiões da descarga

Em uma descarga DC em um reator podemos definir três regiões distintas:

- a) *Região de catodo;*
- b) *Região de anodo;*
- c) *Região luminescente ou corpo do plasma.*

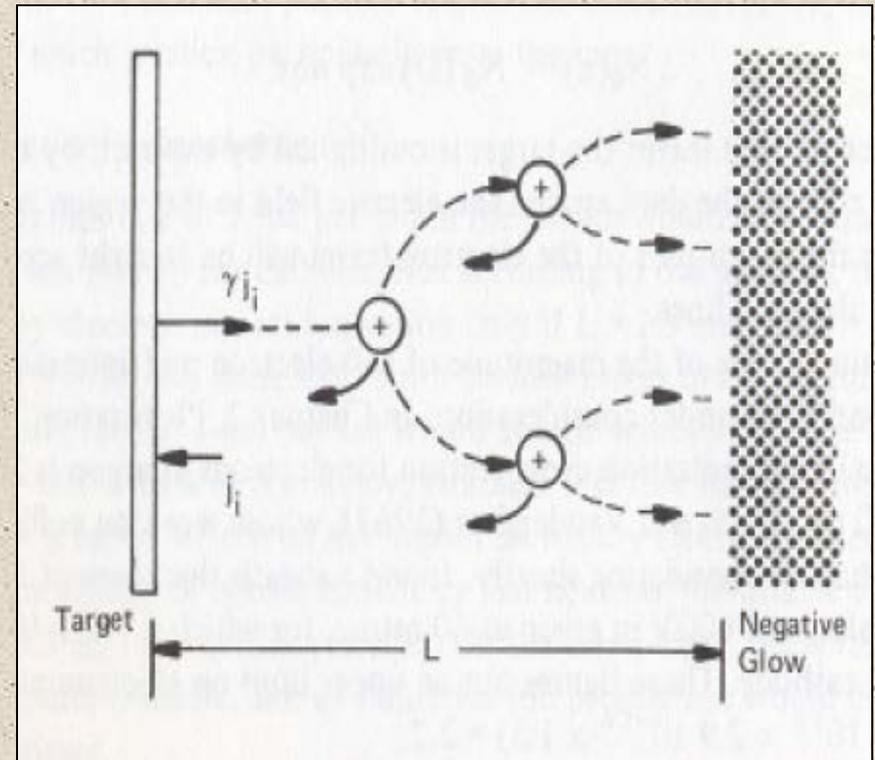
Região de catodo

Região de catodo

Os processos de descarga luminosa ocorrem em dois momentos em descargas DC com baixa tensão e baixa corrente com baixa energia de íons e com tensão alta e corrente constante com alta energia de íons. Neste caso ocorre a formação da bainha catódica. Este caso é importante em sistemas de *sputtering* onde é privilegiado o ataque iônico.

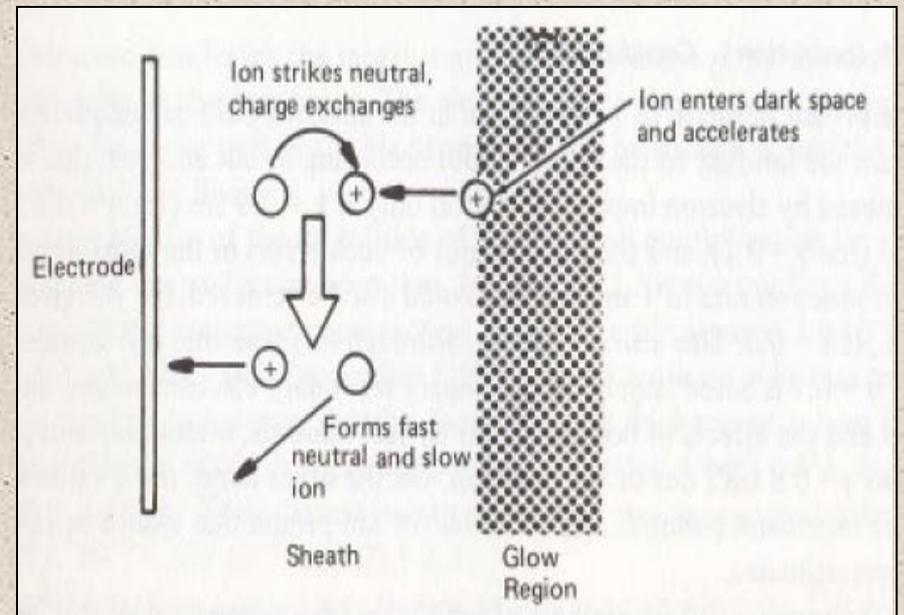
Região de catodo

Produção de íons na região de bainha



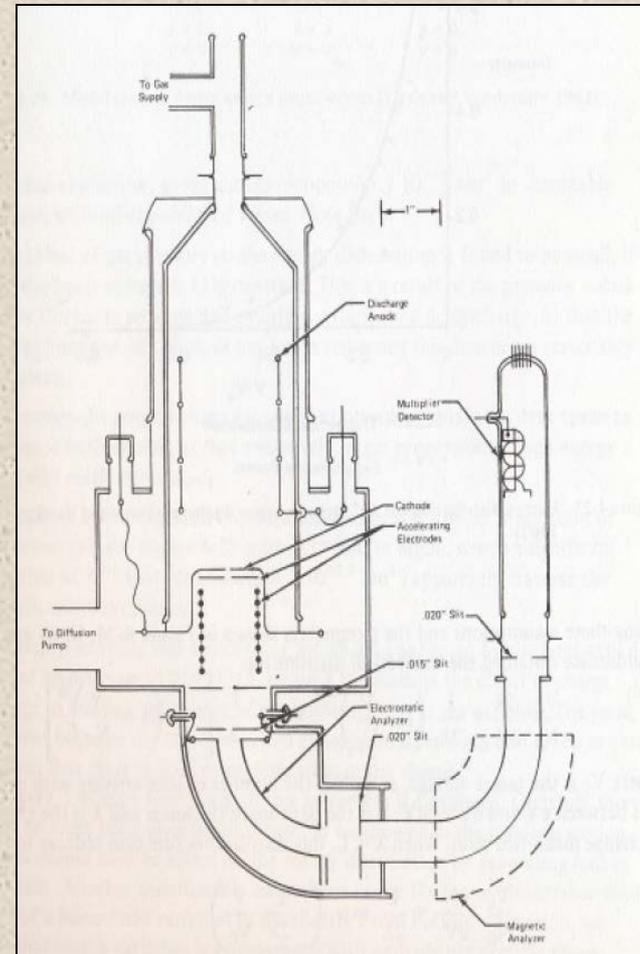
Região de catodo

Criação de radicais na região de bainha.



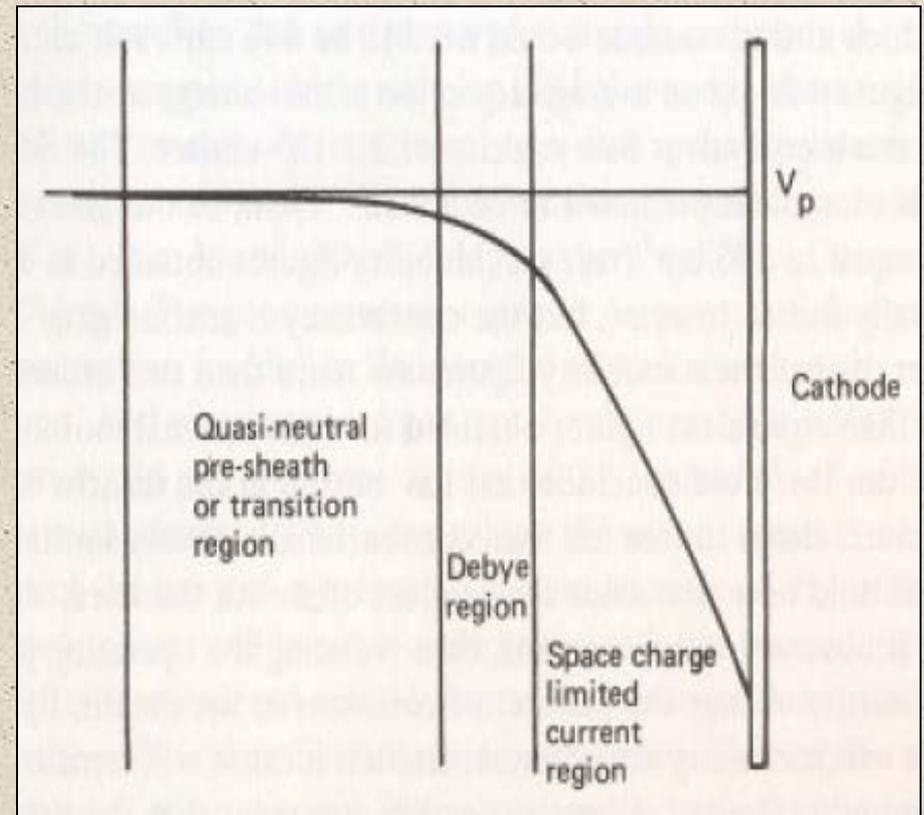
Região de catodo

Arranjo experimental para estudos e caracterização da região de catodo em descargas DC.



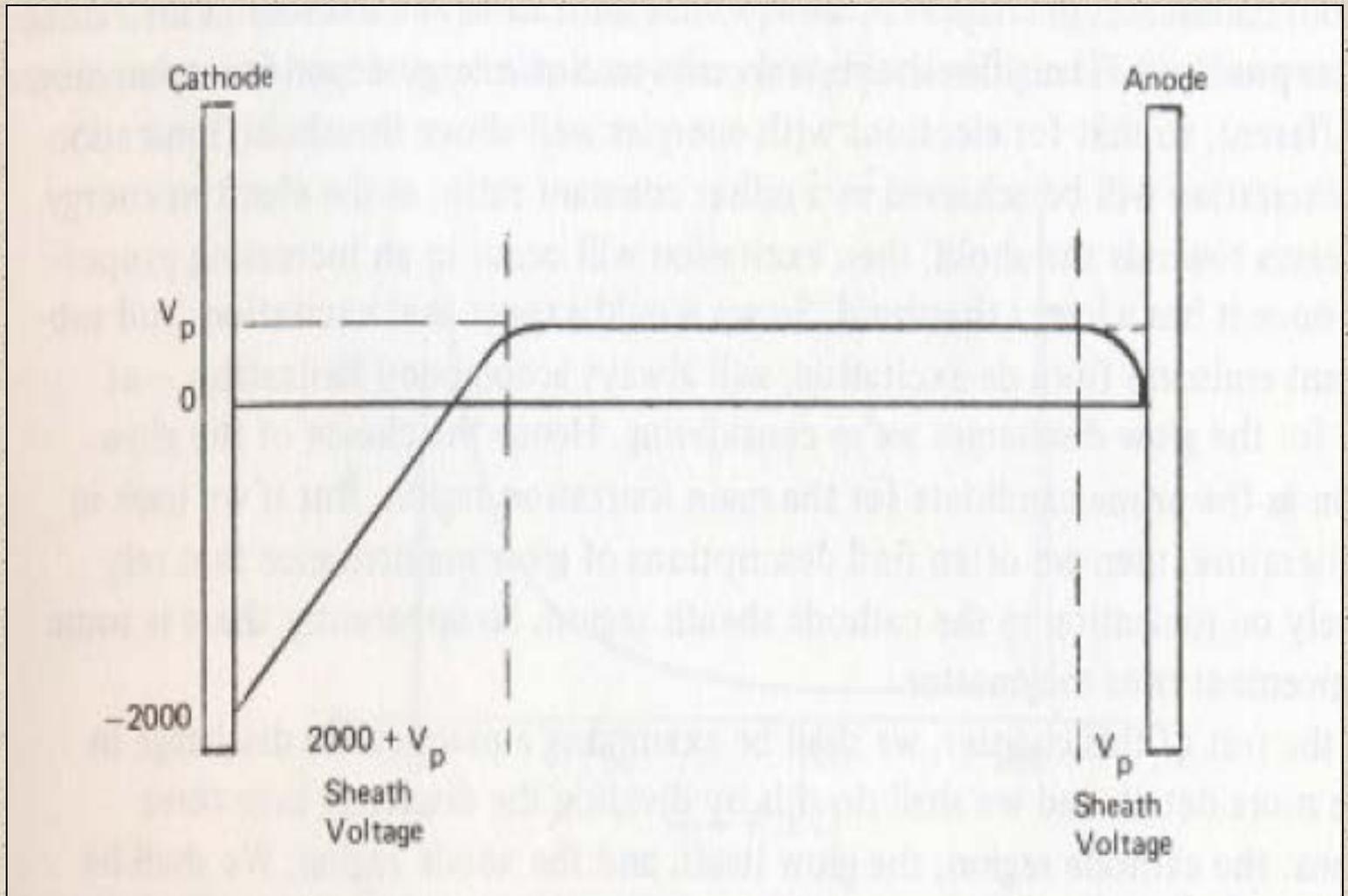
Região de catodo

- Estrutura da região de catodo



Região de anodo

Região de anodo



Região luminosa

“Glow region”

Glow region

Distribuição de energia dos elétrons em uma descarga luminosa

