

# TMEC121

## Introdução a Plasma para Tratamento de Materiais

Descargas elétricas

*Prof. Rodrigo Perito Cardoso*

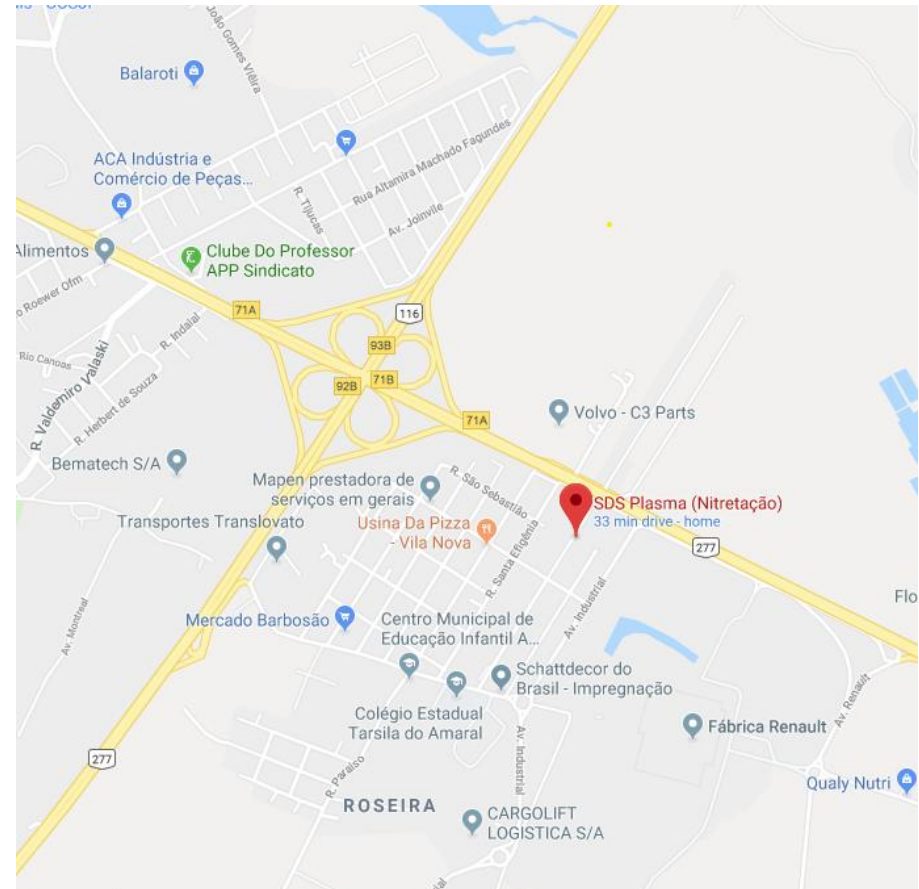
# Visita SDS Plasma

- Dia 04/09 - <http://www.sdsplasma.com.br/>
- Saída UFPR 15:20

- **Prova 01 - 03/09**

Para um bom desempenho:

- Revisar o material de aula (Slides)
- Ler a apostila!



# Objetivo

Dar exemplos de descargas elétricas e relacioná-las com o plasma

Entender os possíveis regimes de uma descarga DC

# O que é uma descarga elétrica?

- Passagem da corrente elétrica em certos meios que deveriam se comportar como isolante
  - Caracteriza-se pela passagem da corrente elétrica num fluido ou num dielétrico, normalmente isolante, o qual, **submetido à ação de um campo elétrico intenso**, ioniza-se e se torna condutor elétricos
  - O que seriam exemplos de descargas elétricas?
  - Como submeter um meio a um campo elétrico?
  - Pode ocorre em gases a alta ou baixa pressão?

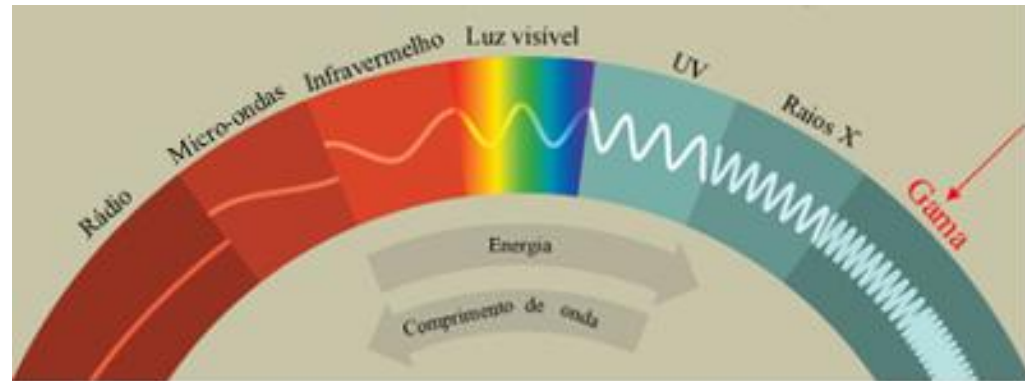
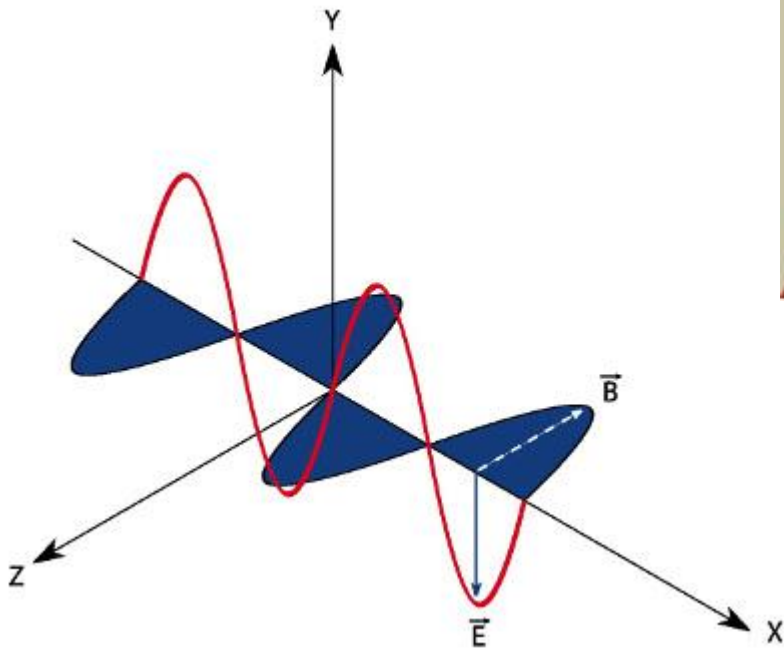
# GERAÇÃO DE DESCARGAS ELÉTRICAS

- DC (Direct Current) Ou Corrente Contínua (3 – 150 kHz)
- RF (13,56 MHz) ( $\lambda \approx 22\text{m}$ )
- Micro-ondas (2450 MHz) ( $\lambda \approx 0,15\text{m}$ )

Como seria aplicado o campo elétrico em cada caso?

Existiriam outras formas de descargas elétricas? Qualis?

# Ondas eletromagnéticas



Possui um campo elétrico!

Possibilidade de focalização (laser)

Possibilidade de ressonância (micro-ondas)

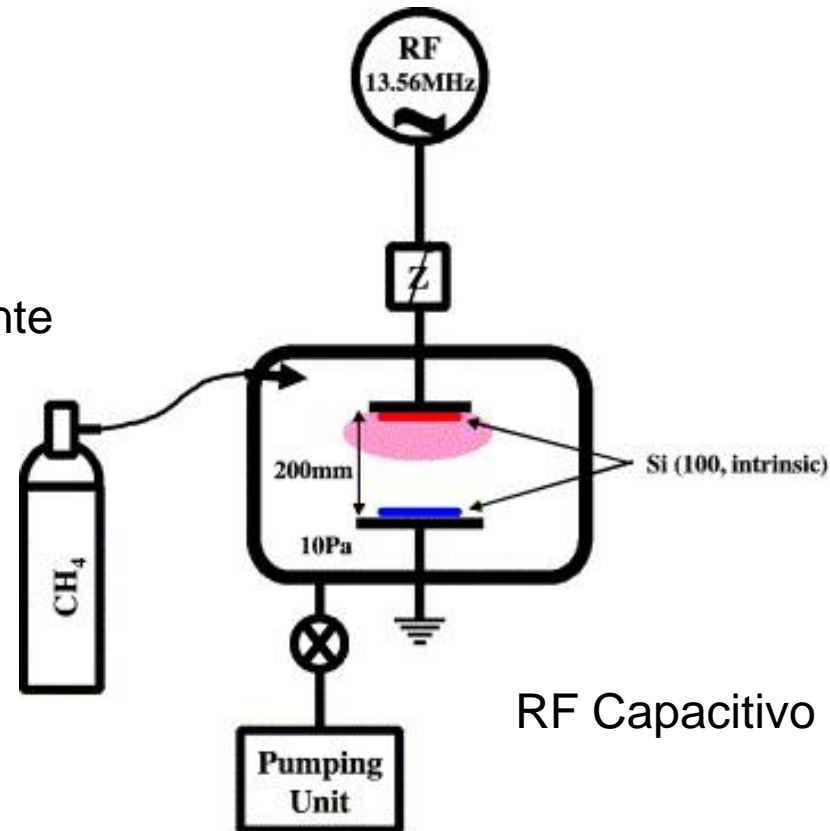
# Plasma –RF

- Radiofrequência são ondas eletromagnéticas que, ao se propagarem, transmitem energia.
- Para se conseguir o plasma, deve-se levar a RF através de um eletrodo até o gás, dentro da câmara de vácuo (acoplamento capacitivo) ou através de um acoplamento indutivo.
- O eletrodo funciona como uma antena, e faz com que a energia das ondas de rádio sejam transferidas para os elétrons (e conseqüentemente para o gás).
- A transferência de energia ocorre porque o campo elétrico oscilante das ondas faz com que os elétrons do gás oscilem com o campo
- Quando os elétrons adquirem energia suficiente o gás pode ser ionizado

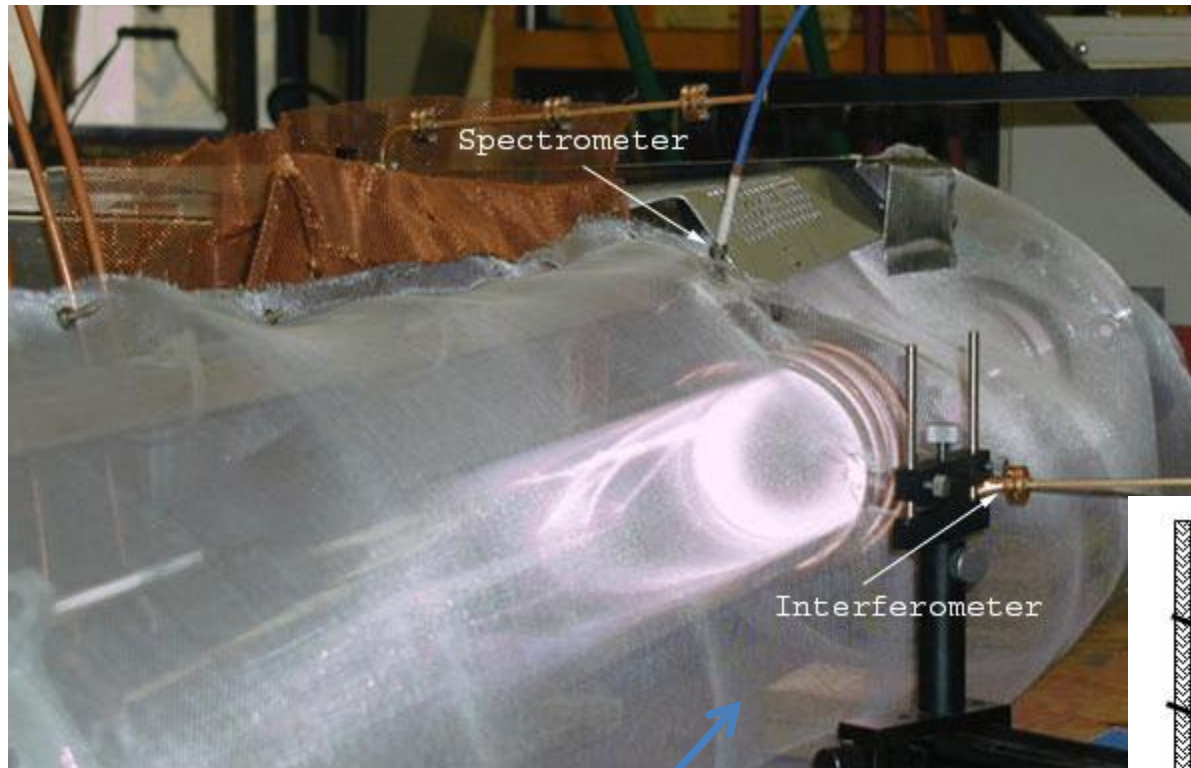
Faixa comercial de 13,56 MHz ( $\lambda \approx 22$  m)

Pode ser utilizada em casos onde o eletrodo não é condutor

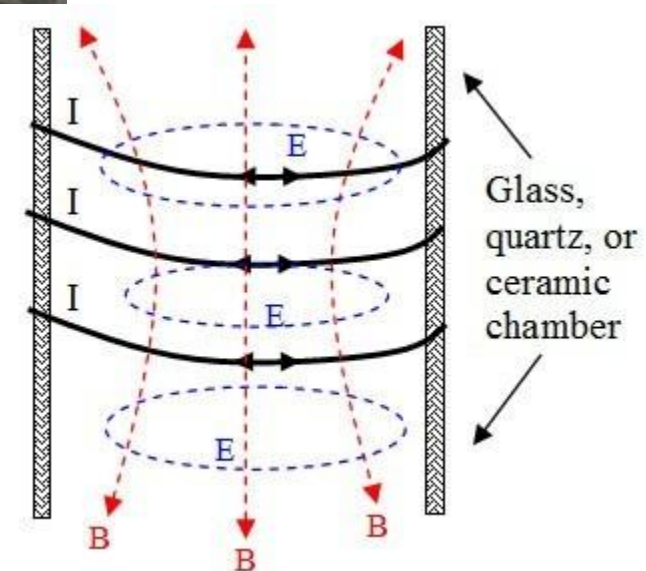
Muito usado para materiais não condutores (ex. vidros, polímeros, filmes isolantes, microeletrônica....)

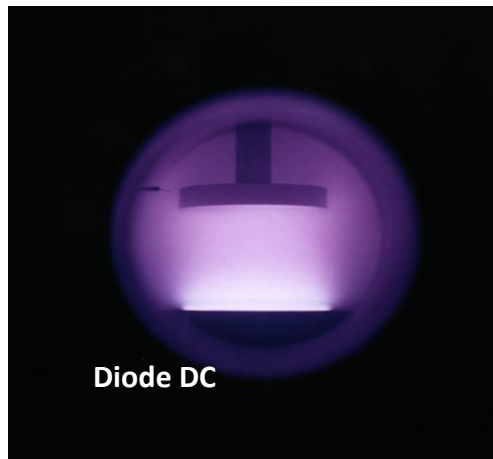


# RF indutivo



Gaiola de Faraday  
Muita radiação eletromagnética





# Plasma - MW

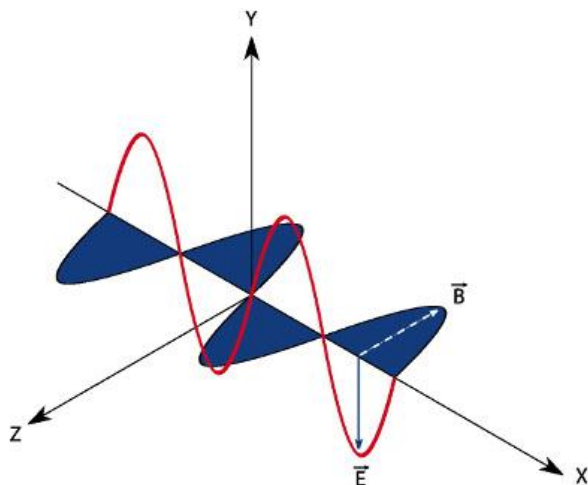
Apresentam uma grande eficiência na formação de espécies reativas (ex. tratamentos em pós descarga)

Por razões comerciais, a frequência de 2450 MHz ( $\lambda \approx 0,15\text{m}$ ) é a mais empregada

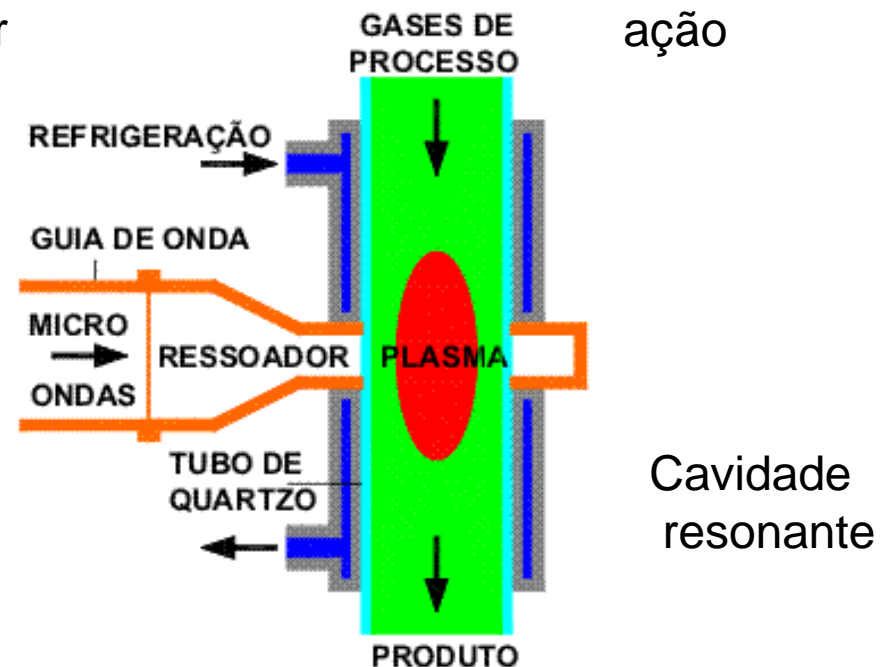
Destas descargas podemos destacar seu uso como fonte de geração de espécies reativas destinadas ao tratamento de polímeros por exemplo (não necessita de eletrodos).

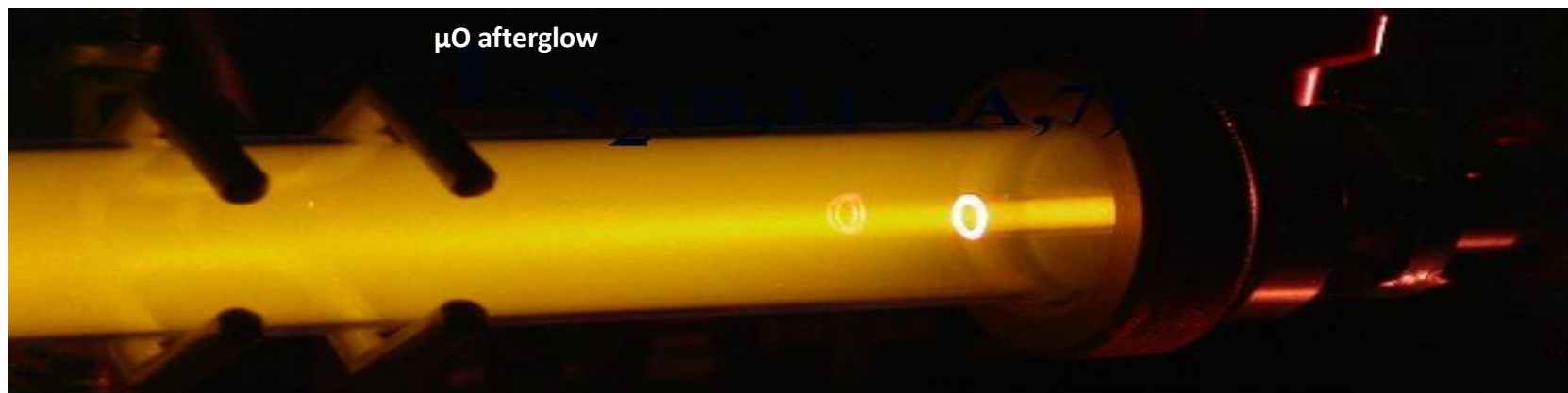
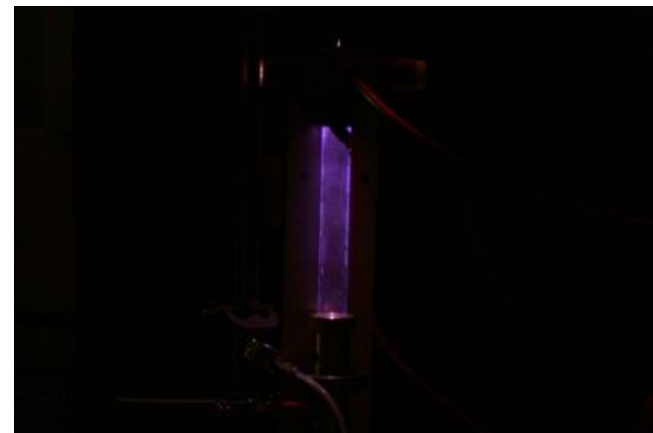
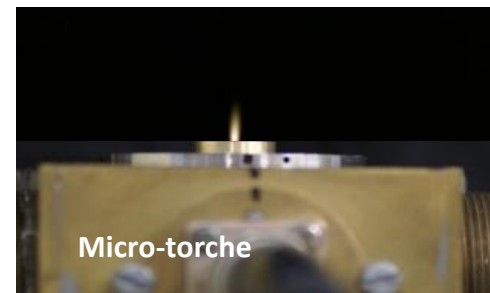
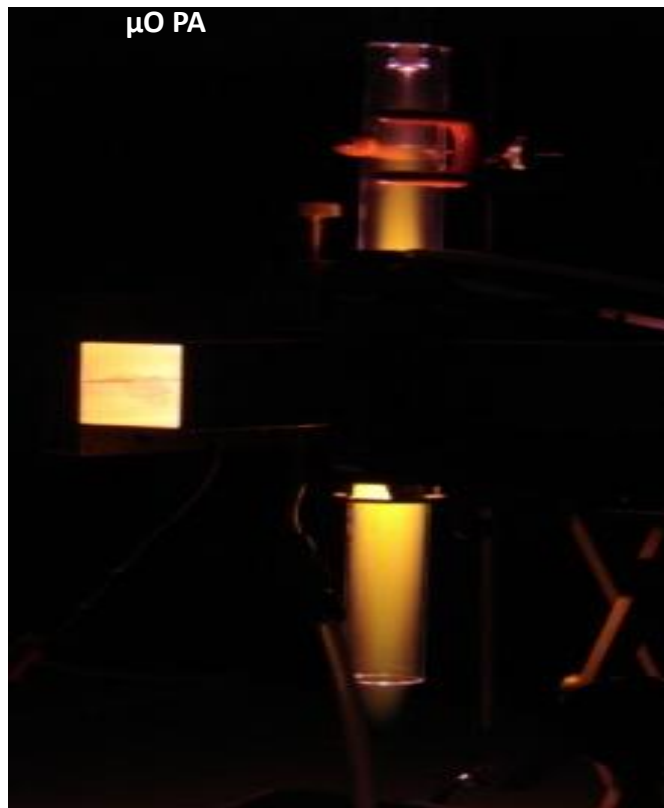
É importante salientar que este tipo de descarga é não homogênea: campos elétricos e densidade eletrônica, o que tor

Vide



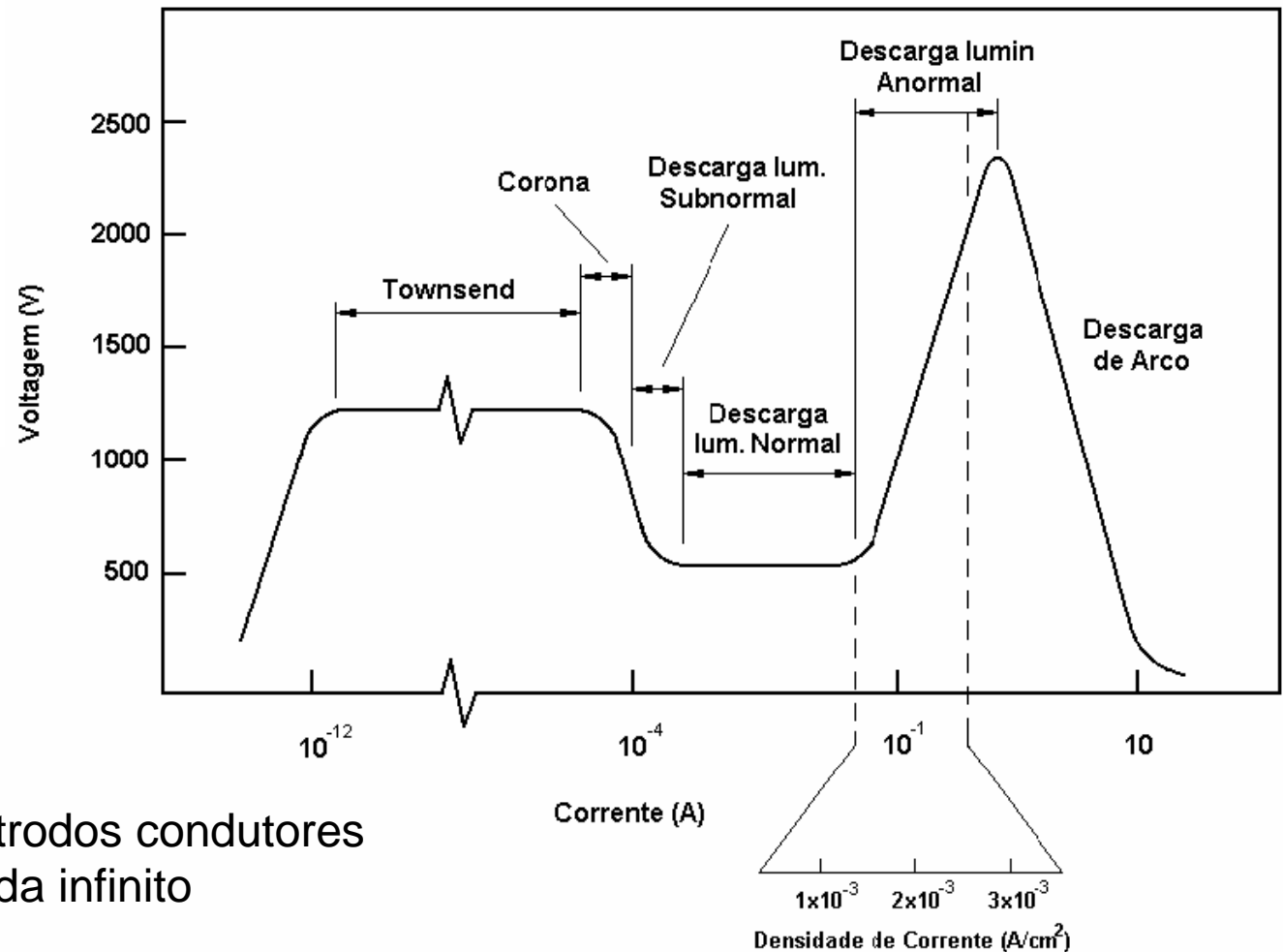
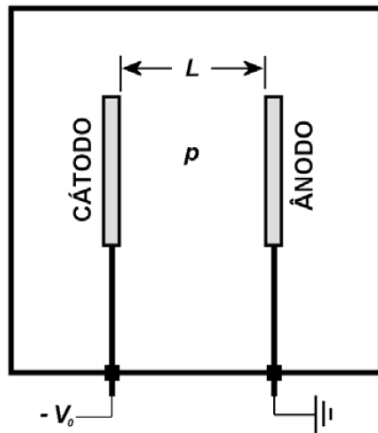
$$\lambda \approx 0,15\text{m}$$





# Plasma – DC (Direct Current) – corrente contínua

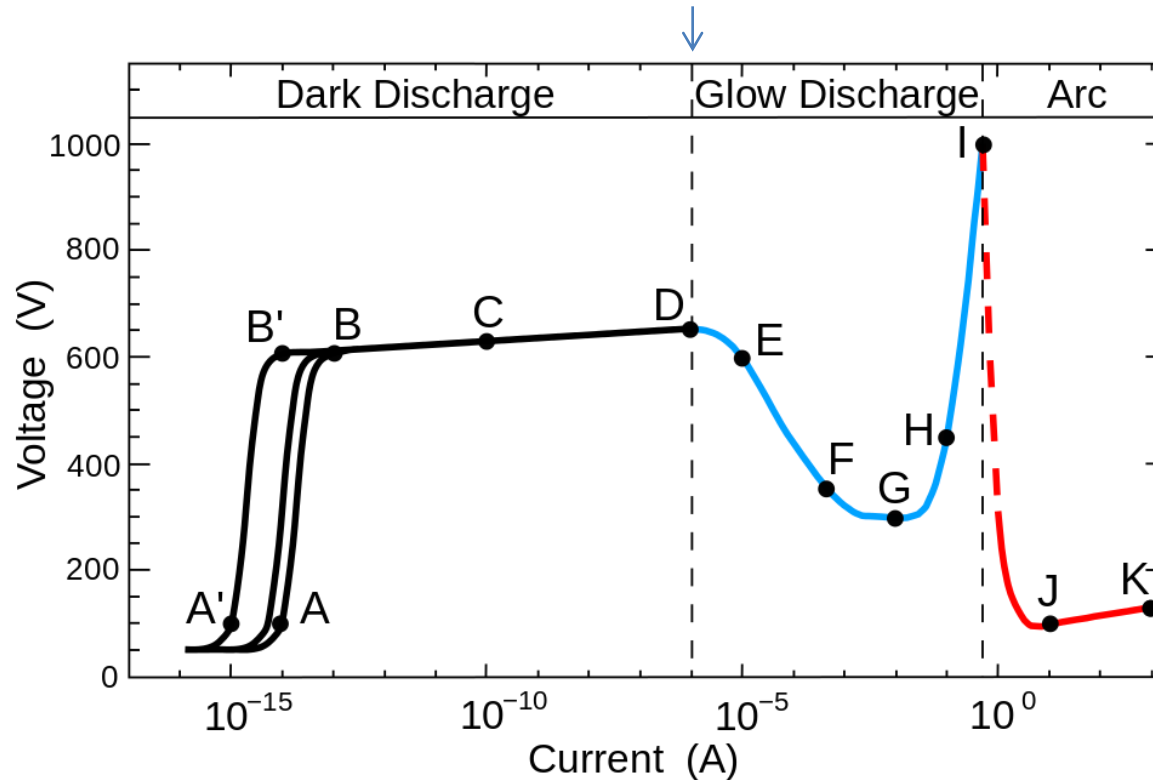
## ✓ Descargas elétricas - Regimes



Necessidade de eletrodos condutores  
Comprimento de onda infinito

A mais aplicada para tratamento de metais

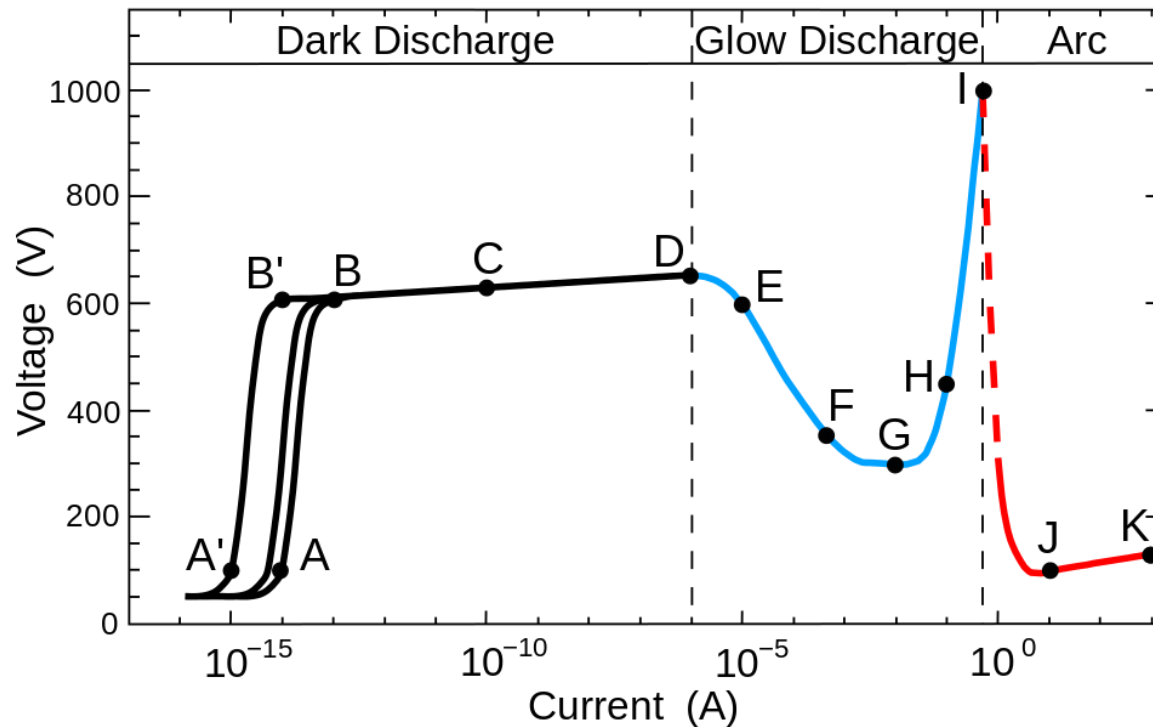
Breakdown (formação significativa de espécies carregadas)



Voltage-current characteristics of electrical discharge in neon at 1 Torr, with two planar electrodes separated by 50 cm

A: random pulses by cosmic radiation  
 B: saturation current  
 C: avalanche Townsend discharge  
 D: self-sustained Townsend discharge  
 E: unstable region: corona discharge

F: sub-normal glow discharge  
 G: normal glow discharge  
 H: abnormal glow discharge  
 I: unstable region: glow-arc transition  
 J: electric arc  
 K: electric arc



Voltage-current characteristics of electrical discharge in neon at 1 Torr, with two planar electrodes separated by 50 cm

The **A-D** region is called a dark discharge; there is some ionization, but the current is below 10 microamperes and there is no significant amount of radiation produced.

The **F-H** region is a region of glow discharge; the plasma emits a faint glow that occupies almost all the volume of the tube; most of the light is emitted by excited neutral atoms.

The **I-K** region is a region of arc discharge; the plasma is concentrated in a narrow channel along the center of the tube; a great amount of radiation is produced.

### **1) Descargas de Townsend, Corona e Subnormal:**

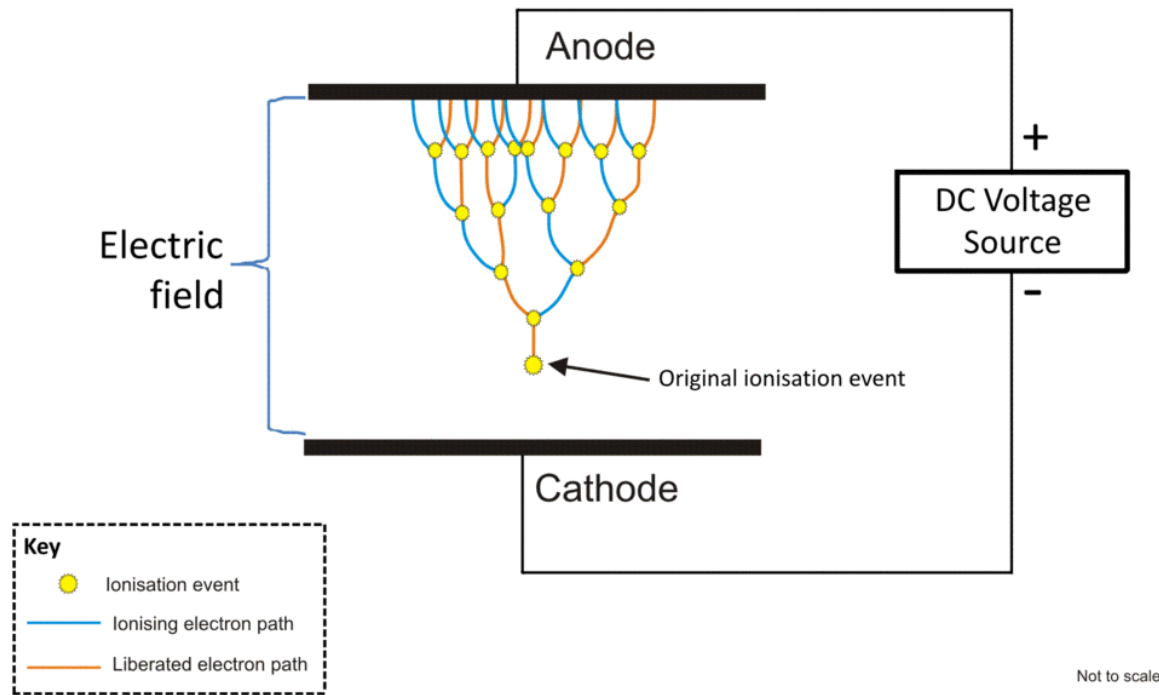
processamento em correntes muito baixas sendo geralmente utilizadas para tratamento de produtos de indústrias têxteis, em sementes, entre outras;

**2) Descarga Luminescente Normal:** caracterizada pelo aumento da corrente em tensão constante. Esta descarga possui a característica de não envolver totalmente o cátodo, sendo que este fato, na maioria dos casos, inviabiliza processamentos de materiais devido a não uniformidade do plasma. Era usada na eletrônica, em válvulas para regular tensão;

**3) Descarga Luminescente Anormal:** nesta descarga a corrente é elevada e é função da tensão (possibilita controle em tensão). Sua principal característica é o envolvimento uniforme do cátodo pelo plasma, possibilitando com isto um tratamento homogêneo de materiais;

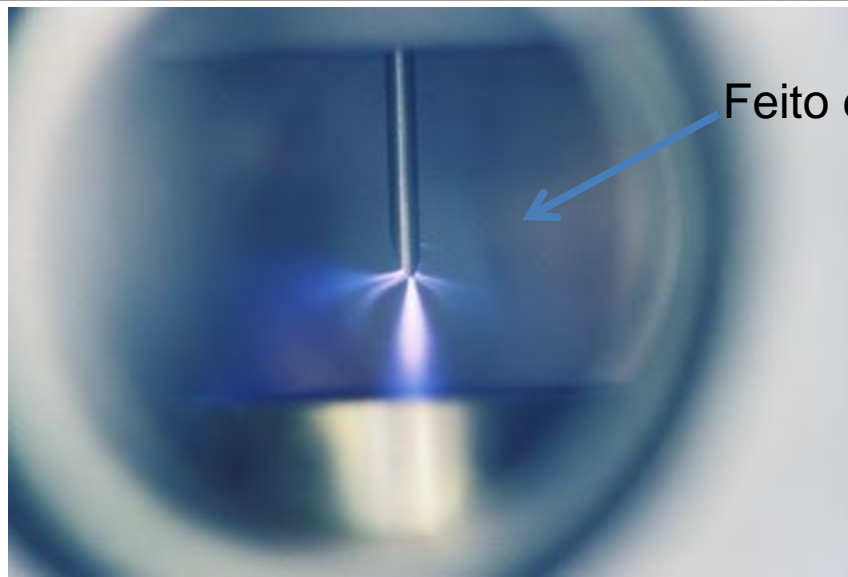
**4) Descarga de Arco:** neste regime a corrente possui comportamento inverso da tensão, ou seja, à medida que se aumenta a corrente a tensão tende a valores cada vez menores, provocando um grande aquecimento. Aplicação em corte, solda e algum processos de deposição;

# Visualisation of a Townsend Avalanche



Sem alteração significativa do campo elétrico pelas espécies criadas

[Vídeo chama](#)

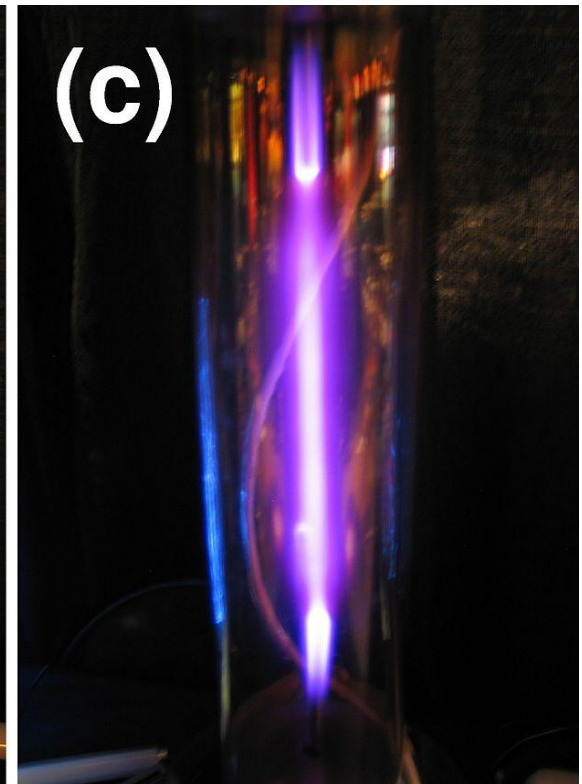
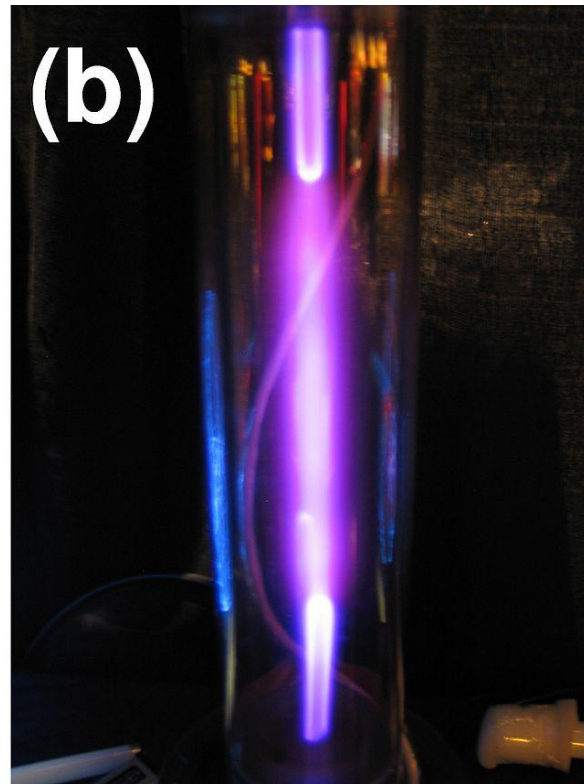
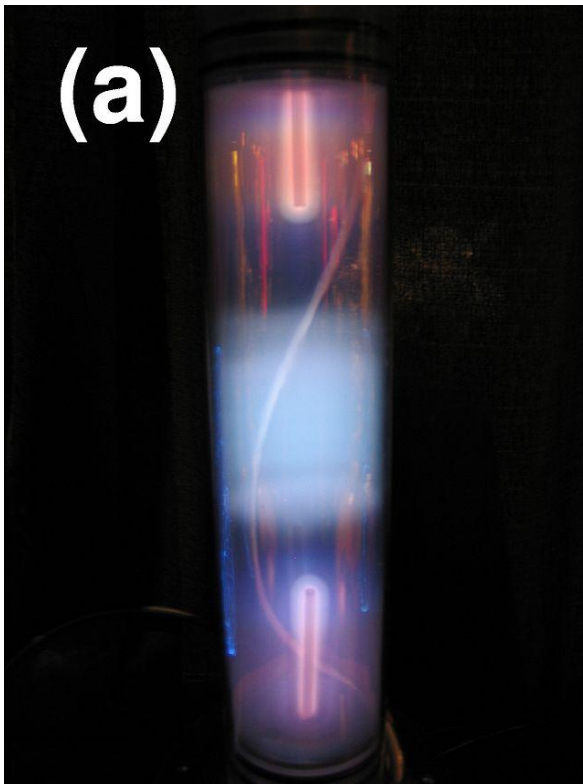


Feito de ponta (concentração do campo)

O que causa luminescência?

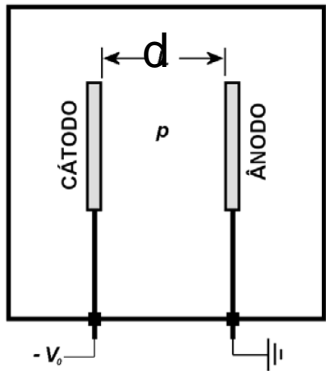
Descarga corona (feito da geometria)

Descarga anormal

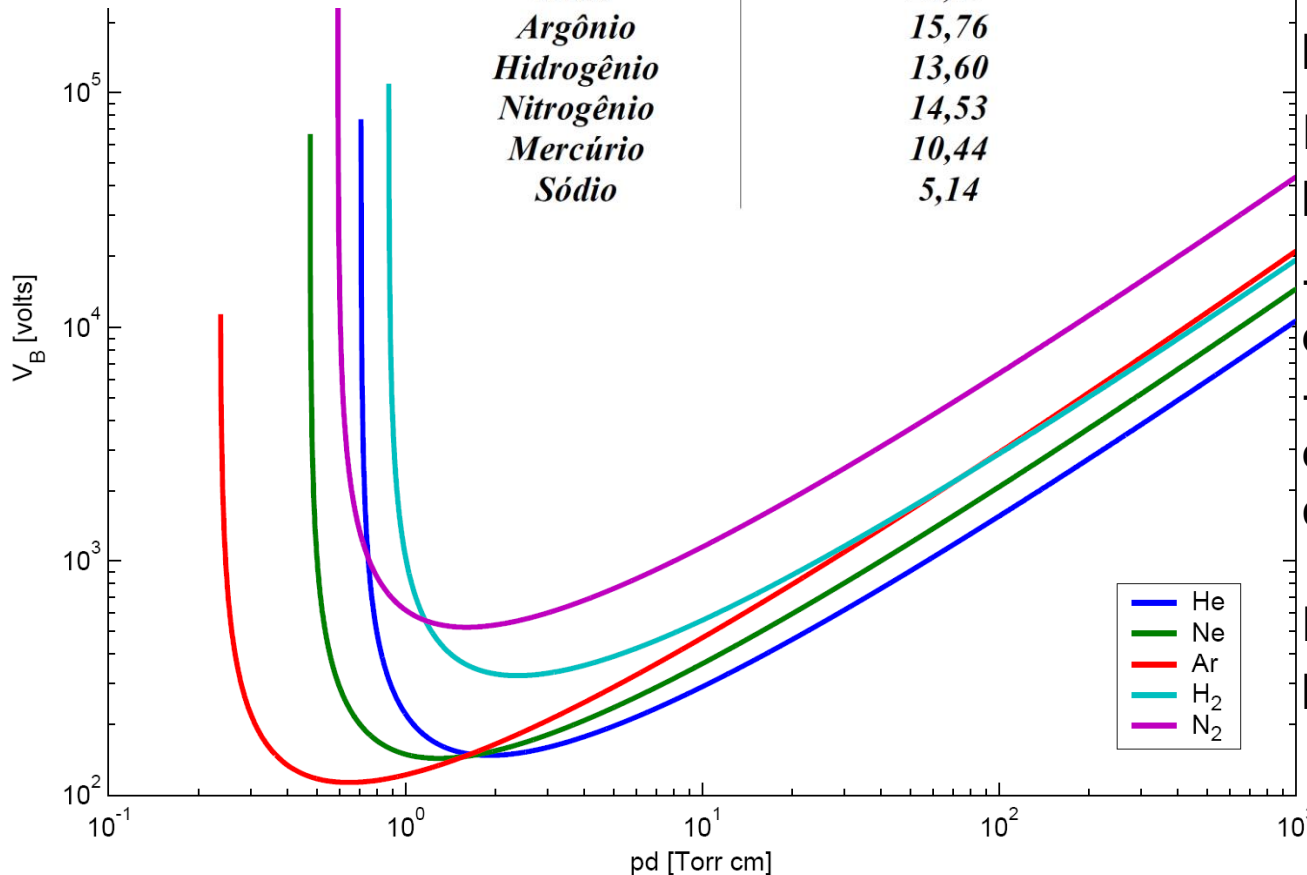


Transition from glow to arc discharge in argon, by increasing the gas pressure.

# Rompimento do dielétrico (breakdown)



| <i>Elemento Químico</i> | <i>Energia de Ionização (eV)</i> |
|-------------------------|----------------------------------|
| <i>Hélio</i>            | 24,59                            |
| <i>Argônio</i>          | 15,76                            |
| <i>Hidrogênio</i>       | 13,60                            |
| <i>Nitrogênio</i>       | 14,53                            |
| <i>Mercúrio</i>         | 10,44                            |
| <i>Sódio</i>            | 5,14                             |



Lei de Paschen -> isolante  
-> condutor

O que causa o início do plasma?

Produto  $pd$  -> ligado à probabilidade de colisões

- Perto -> ↓ probabilidade de colisão ↑ campo elétrico

- Longe -> ↓ campo elétrico ↑ probabilidade de colisão

Nem toda colisão é efetiva para ionização

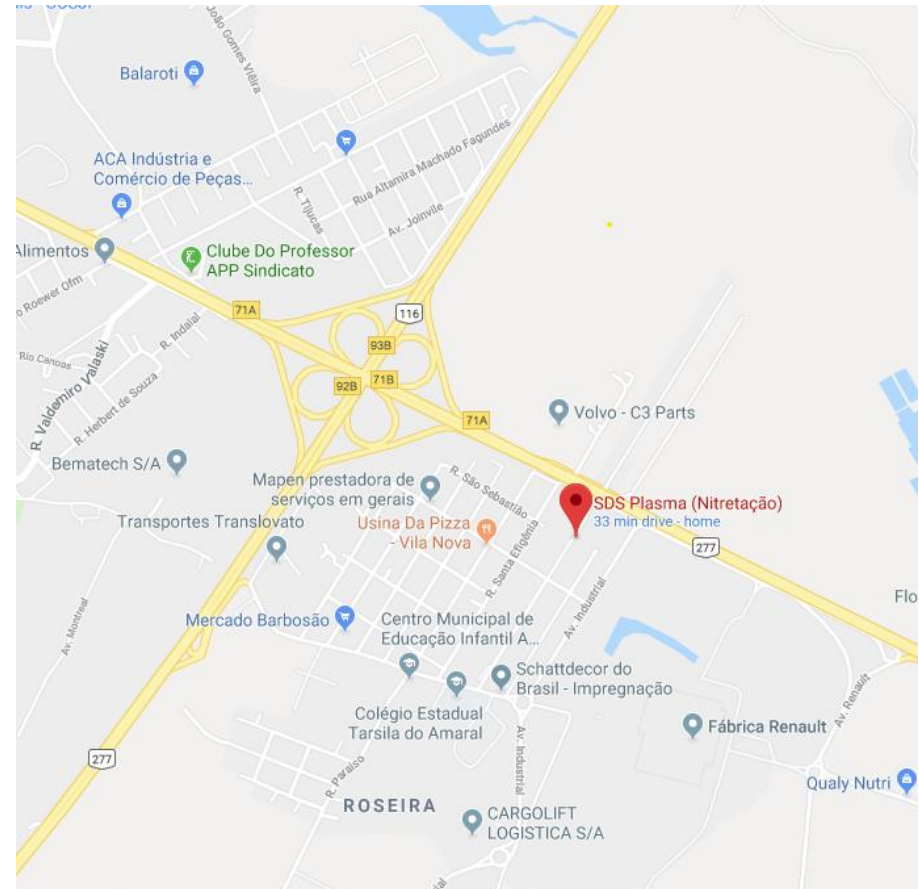
# Visita SDS Plasma

- Dia 04/09 - <http://www.sdsplasma.com.br/>
- Saída UFPR 15:20

- **Prova 01 - 03/09**

Para um bom desempenho:

- Revisar o material de aula (Slides)
- Ler a apostila!



# É importante lembrar

- O que são descargas elétricas (qual sua relação com plasma?)
- Formas de gerar descargas elétricas e suas características
- Entender as descargas DC com mais detalhes
  - Regimes de descarga DC
- Curvas de Pachen