

TMEC121

Introdução a Plasma para Tratamento de Materiais

Descargas elétricas

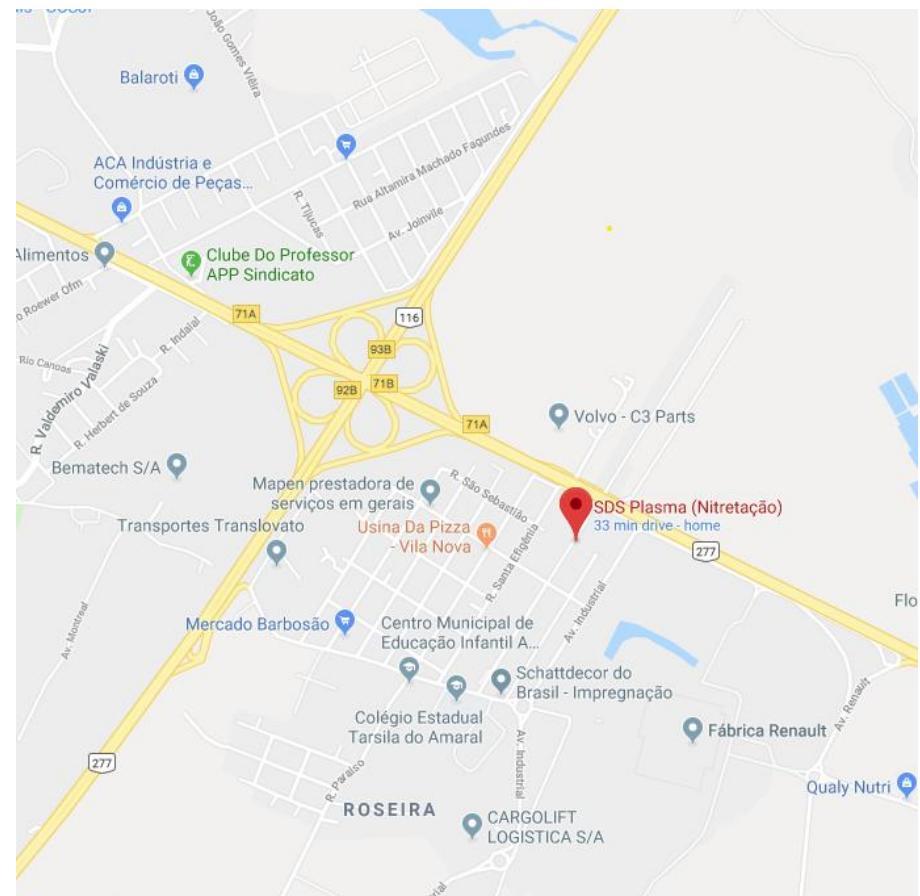
Prof. Rodrigo Perito Cardoso

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 relaciona-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 ocorrer em gases a alta ou baixa pressão?

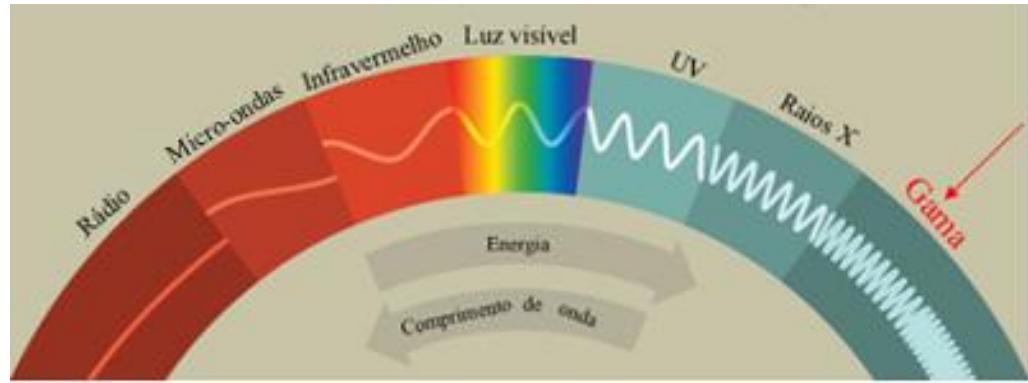
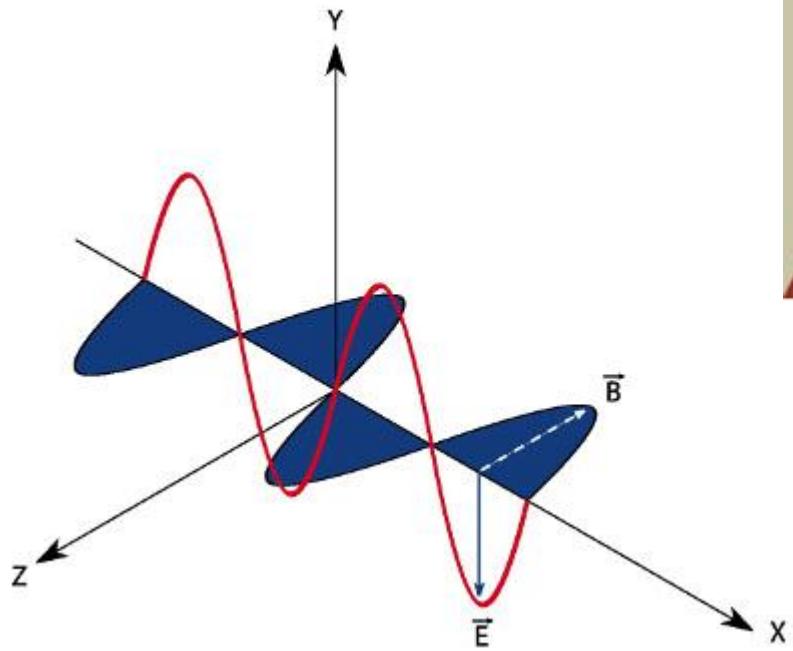
GERAÇÃO DE DESCARGAS ELÉTRICAS

- 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)

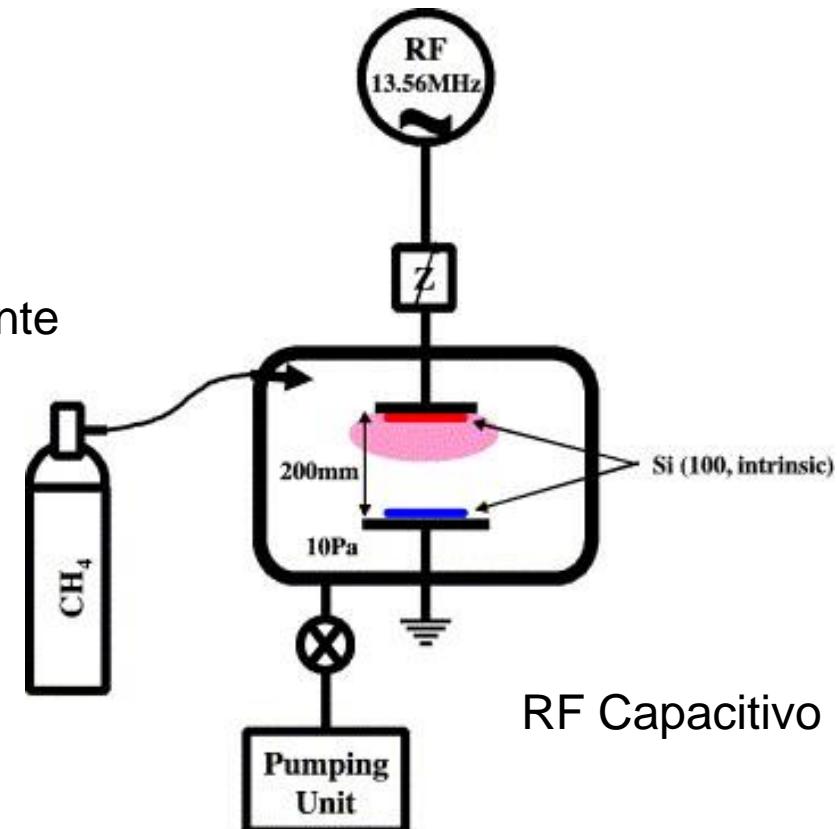
Possibilidade de resonância (micro-ondas)

- 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 consequentemente 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

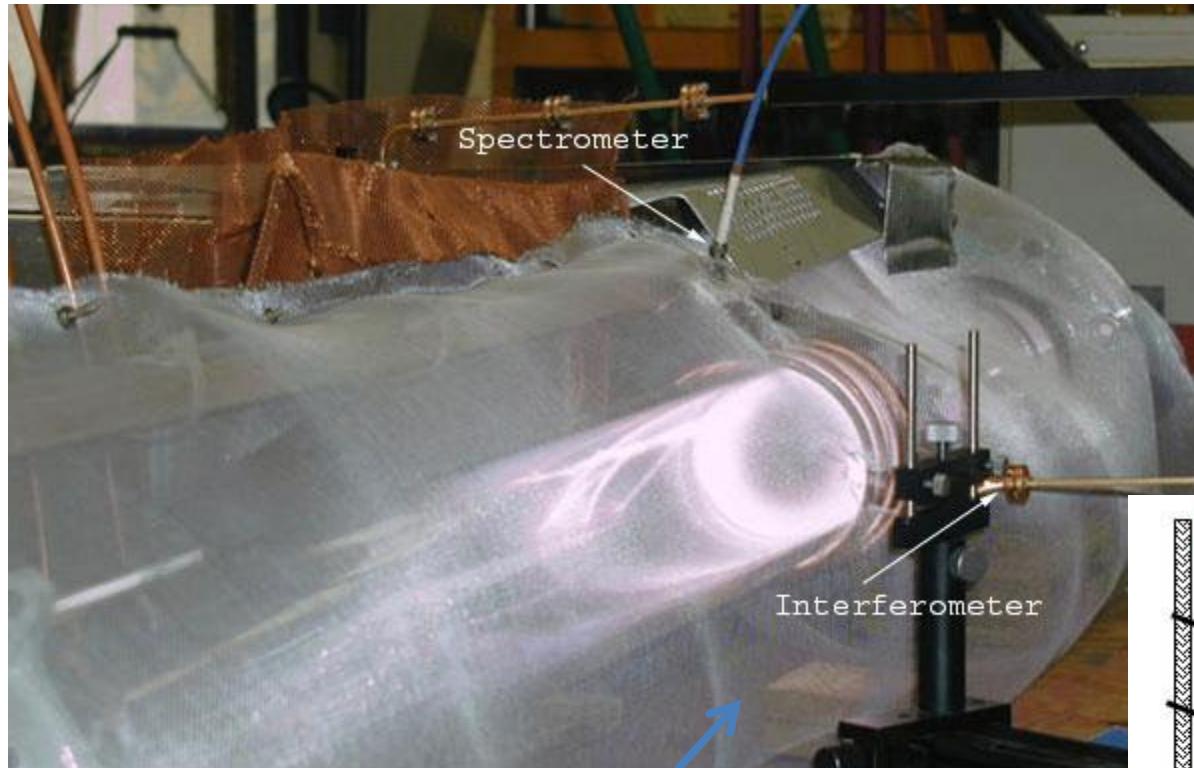
Faixa comercial de 13,56 MHz ($\lambda \approx 22$ m)

Pode ser utilizada em casos onde o eletrodo não é condutor

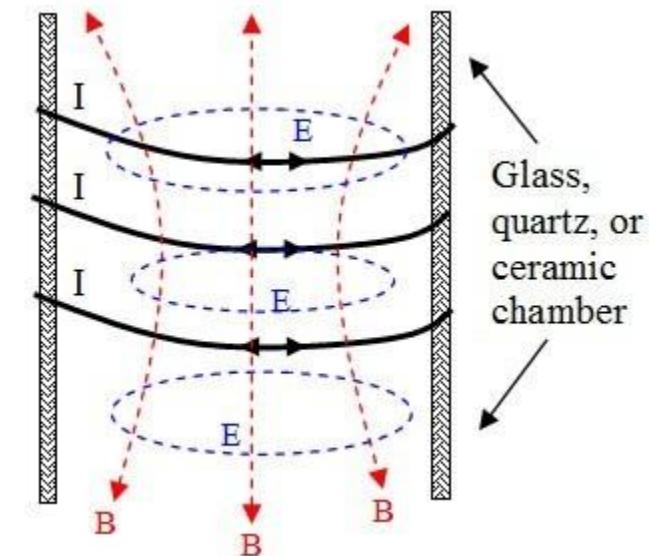
Muito usado para materiais não condutores (ex. vidros, polímeros, filmes isolantes, microeletrônica....)

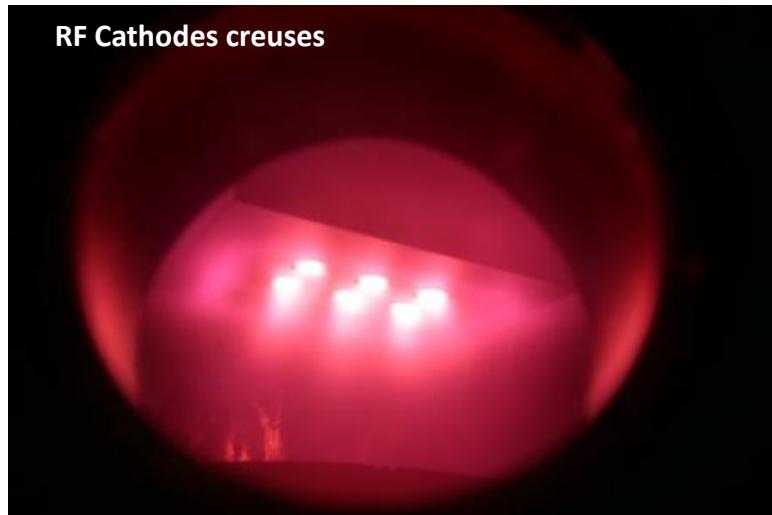
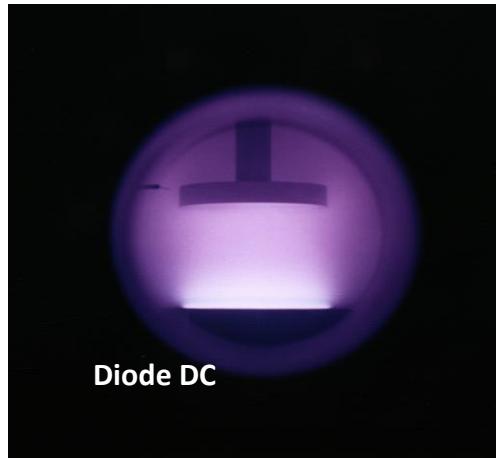


RF indutivo



Gaiola de Faraday
Muita radiação eletromagnética





Plasma - MW

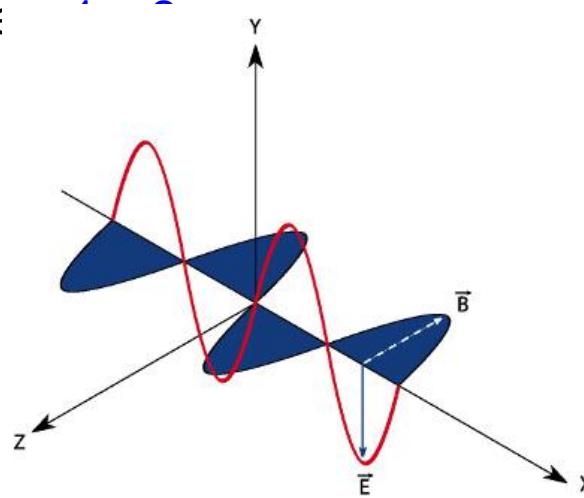
Apresentam uma grande eficiência na formação de espécies reativas (ex. tratamentos em pós descarga)

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

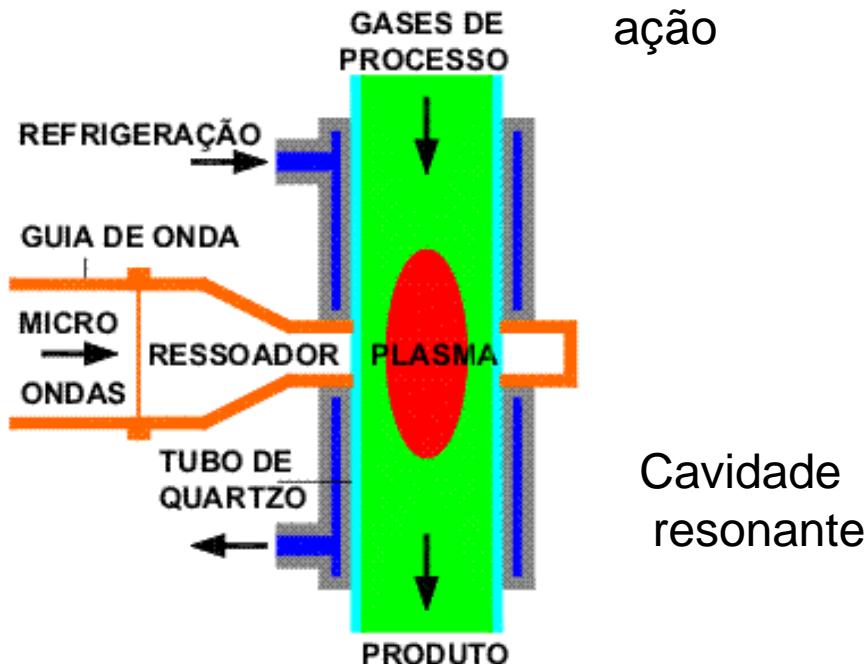
Destas descargas podemos destacar seu uso como fonte de geração de espécies reativas destinadas ao tratamento de polímeros por exemplo (não necessita de eletrodos).

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

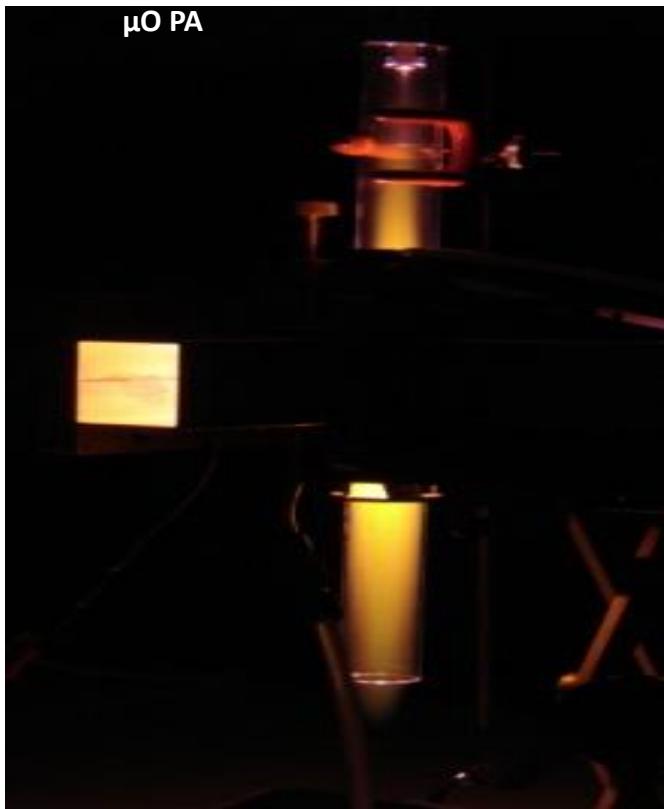
Víde



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



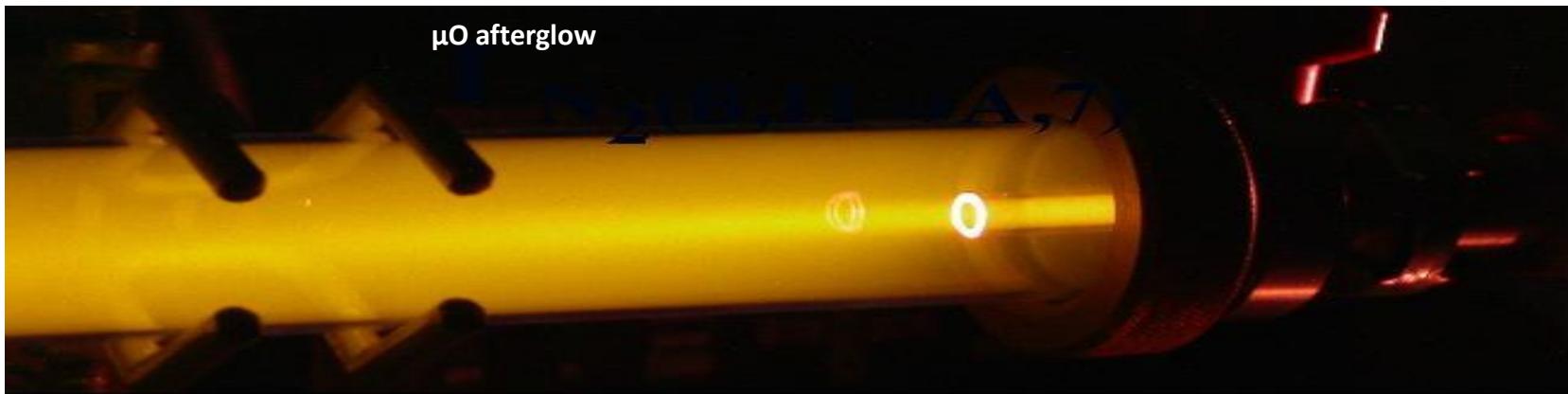
μ O PA



Micro-torche

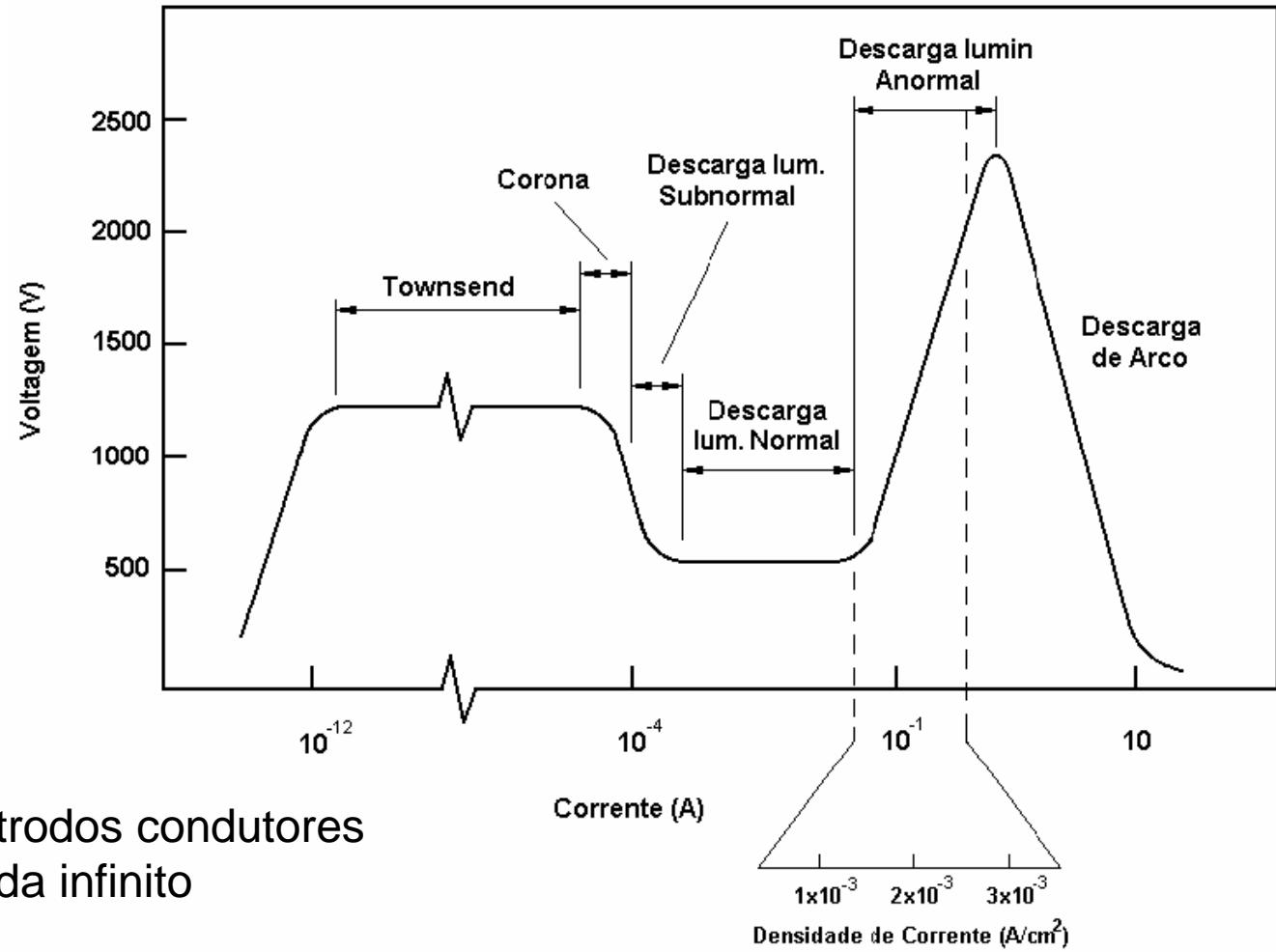
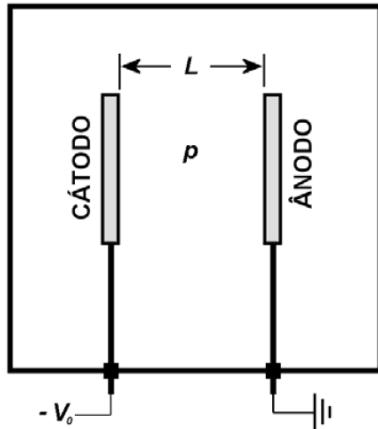


μ O afterglow



Plasma – DC (Direct Current) – corrente contínua

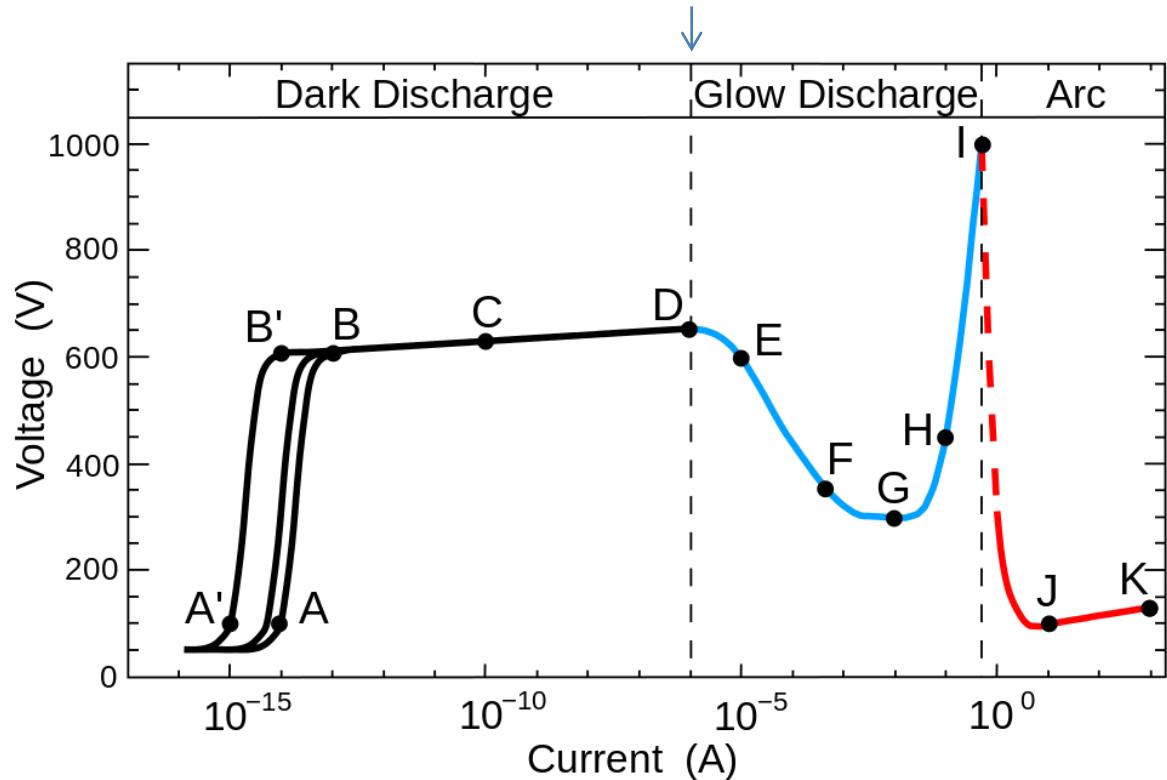
- ✓ Descargas elétricas - Regimes



Necessidade de eletrodos condutores
Comprimento de onda infinito

A mais aplicada para tratamento de metais

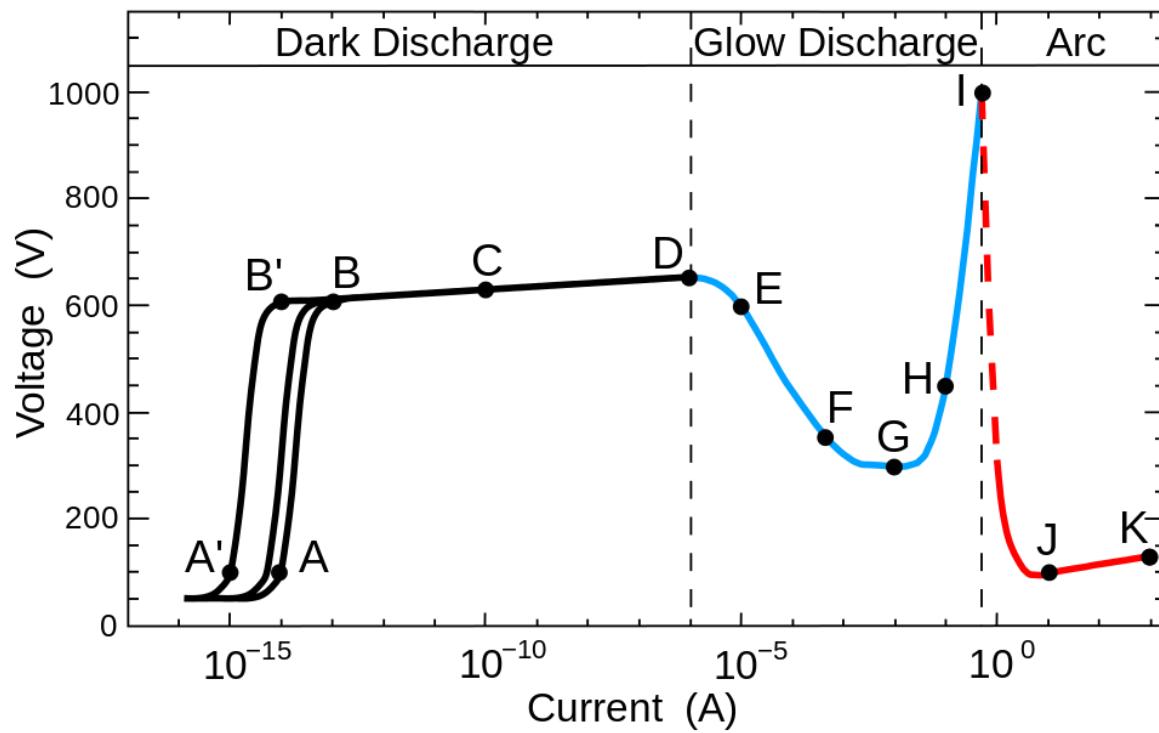
Breakdown (formação significativa de espécies carregadas)



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;

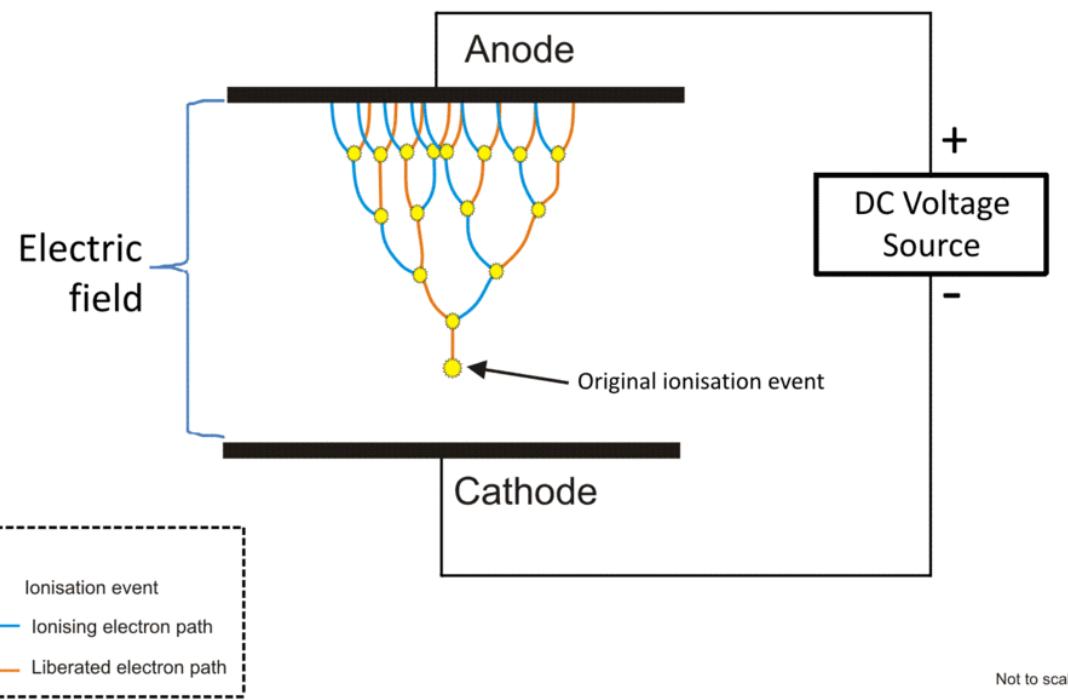
2) Descarga Luminescente Normal: caracterizada pelo aumento da corrente em tensão constante. Esta descarga possui a característica de não envolver totalmente o cátodo, sendo que este fato, na maioria dos casos, inviabiliza processamentos de materiais devido a não uniformidade do plasma. Era usada na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

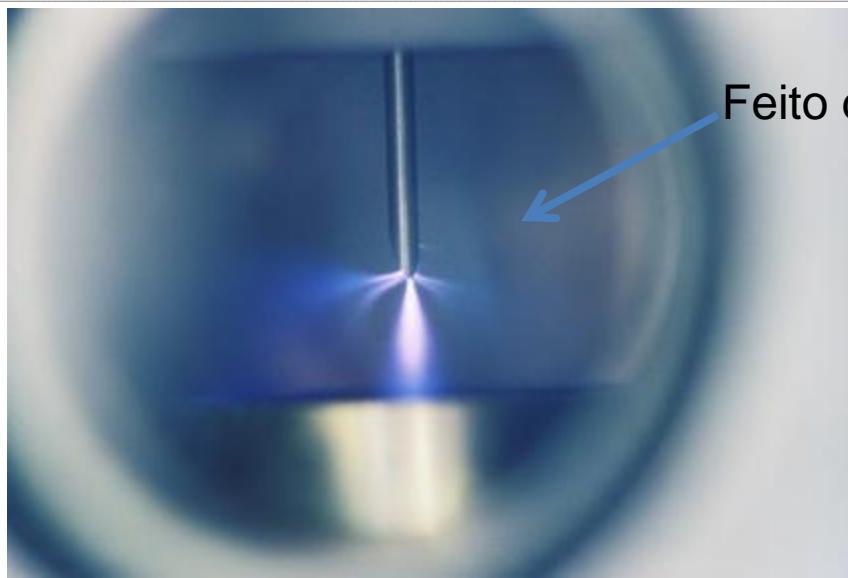
Visualisation of a Townsend Avalanche

Prof. Rodrigo Perito Cardoso



Sem alteração significativa do capo elétrico pelas espécies criadas

[Vídeo chama](#)

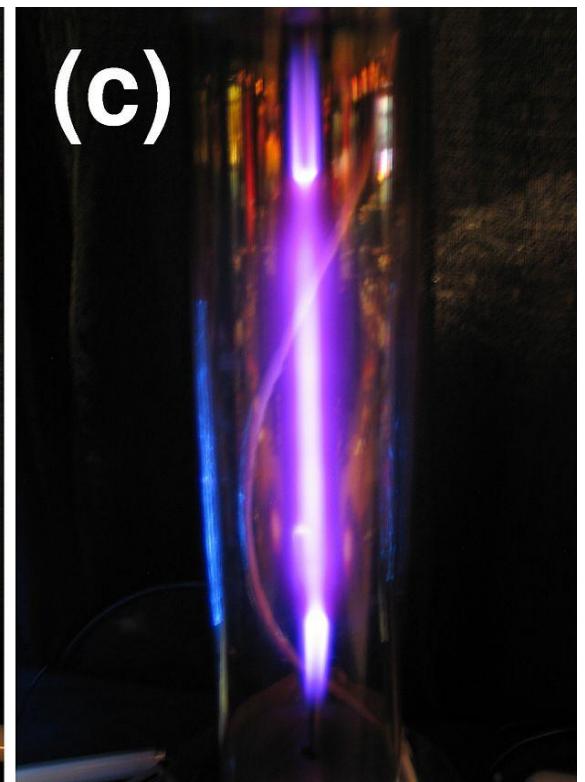
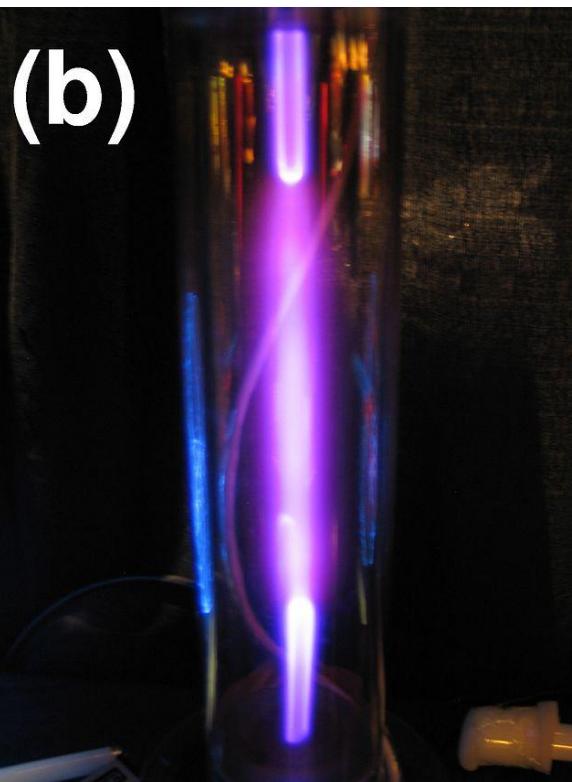
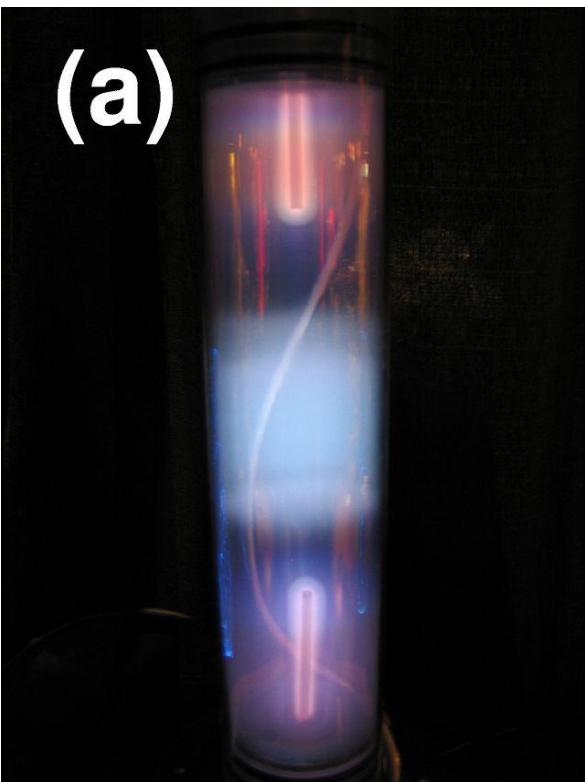


Feito de ponta (concentração do capo)

O que causa luminescência?

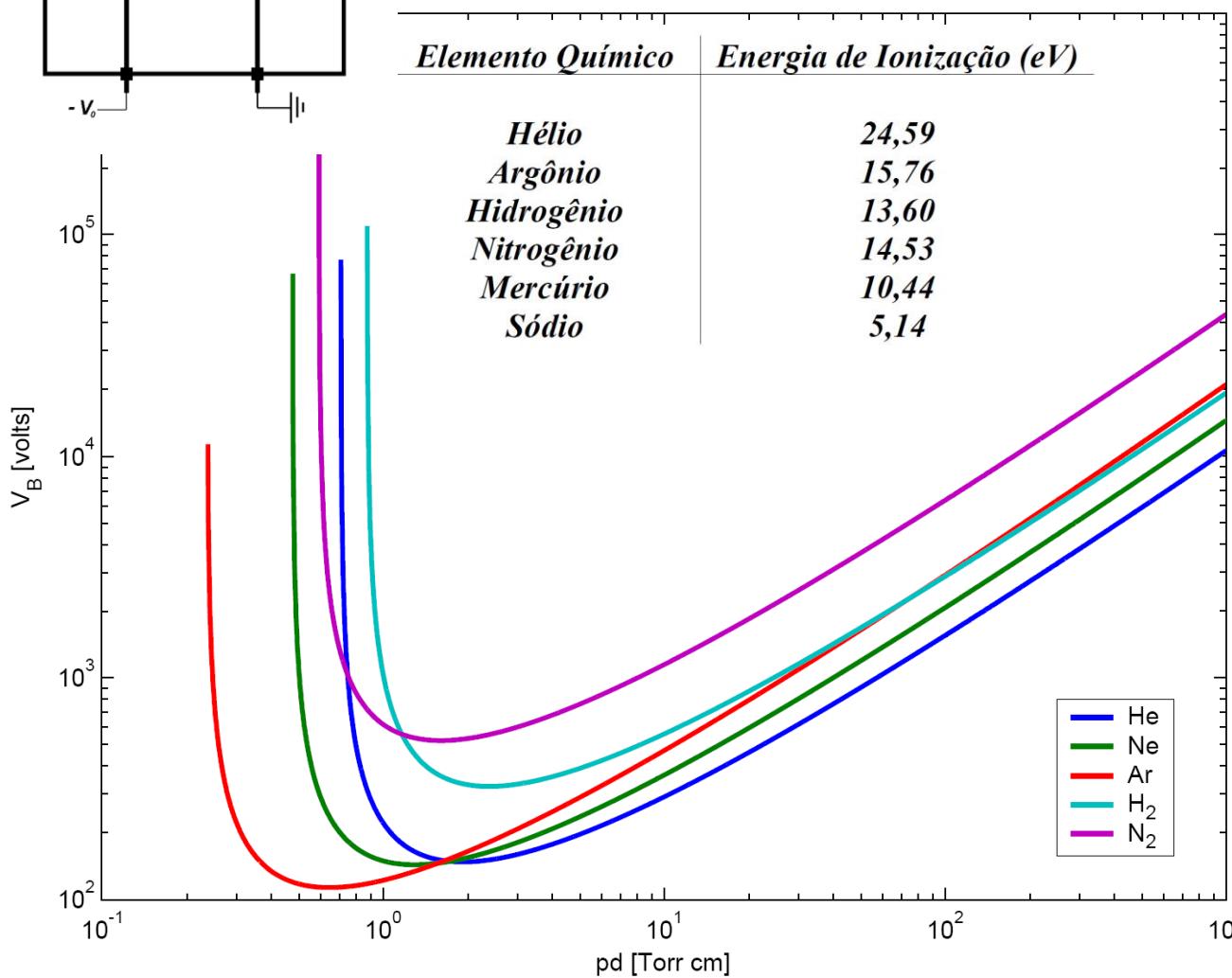
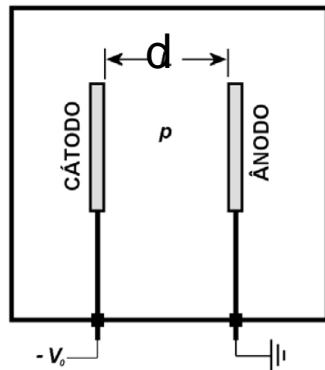
Descarga corona (feito da geometria)

Descarga anormal



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

Rompimento do dielétrico (breakdown)



Lei de Paschen -> isolante
-> condutor

O que causa o inicio do plasma?

Produto pd -> ligado à probabilidade de colisões

- Perto -> \downarrow probabilidade de colisão \uparrow campo elétrico
- Longe -> \downarrow campo elétrico \uparrow probabilidade de colisão

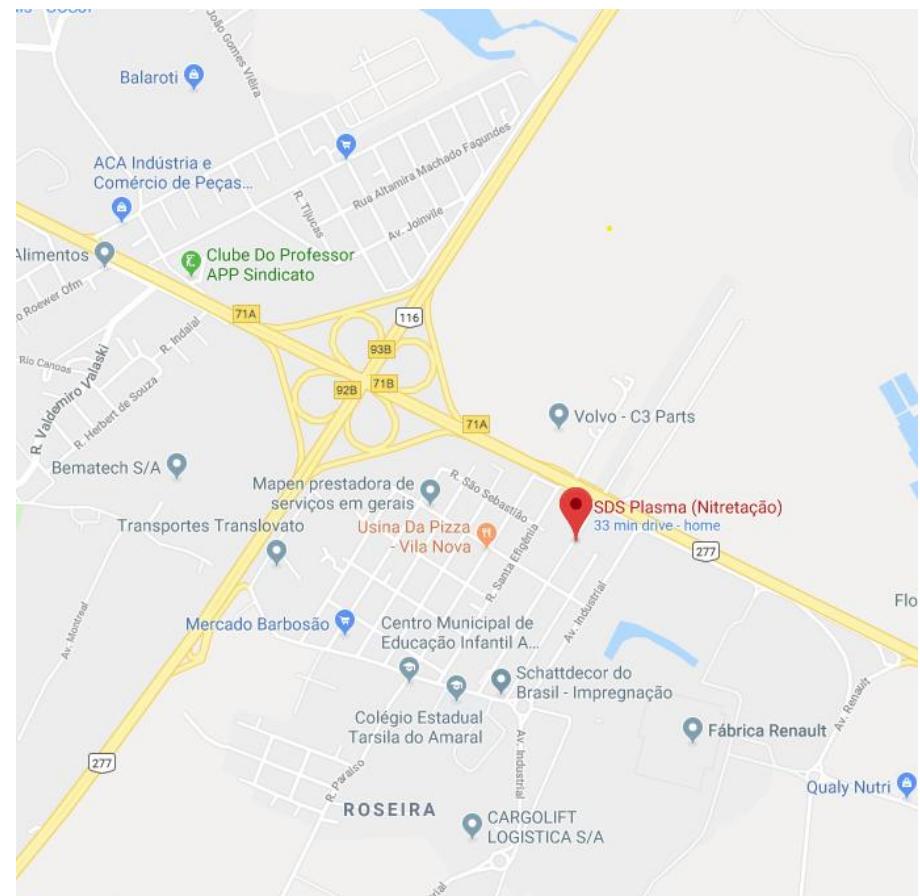
Nem todo colisão é efetiva para ionização

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 lembra

- 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