

## SIMULAÇÃO DE PLASMAS GERADOS EM GAIOLA CATÓDICA<sup>1</sup>

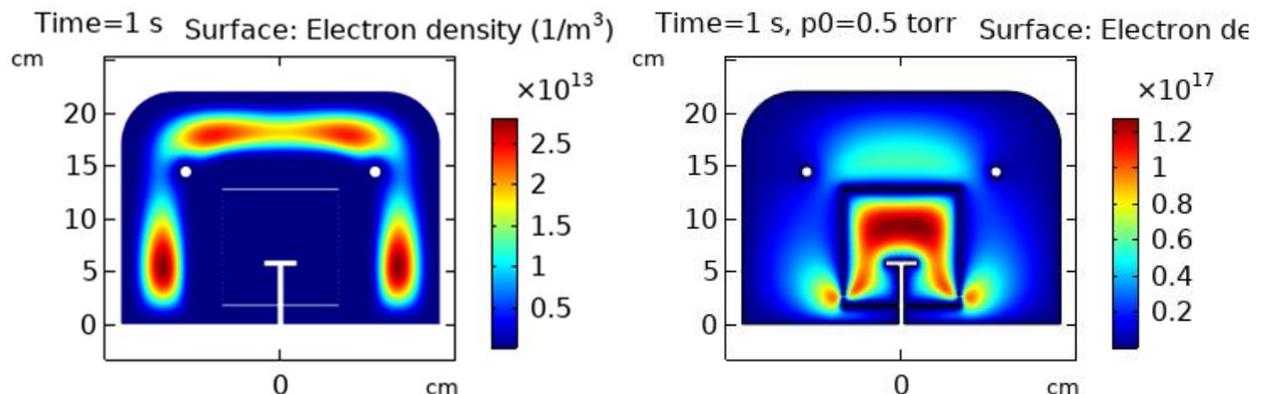
Gabriel Corteletti Camargo<sup>2</sup>, Julio César Sagás<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vinculado ao projeto “Diagnóstico e simulação de plasmas gerados em descargas *magnetron*”

<sup>2</sup> Acadêmico (a) do Curso de Licenciatura em Física – UDESC CCT– Bolsista PROBIC/CNPq

<sup>3</sup> Orientador, Departamento de Física – UDESC CCT – julio.sagas@udesc.br

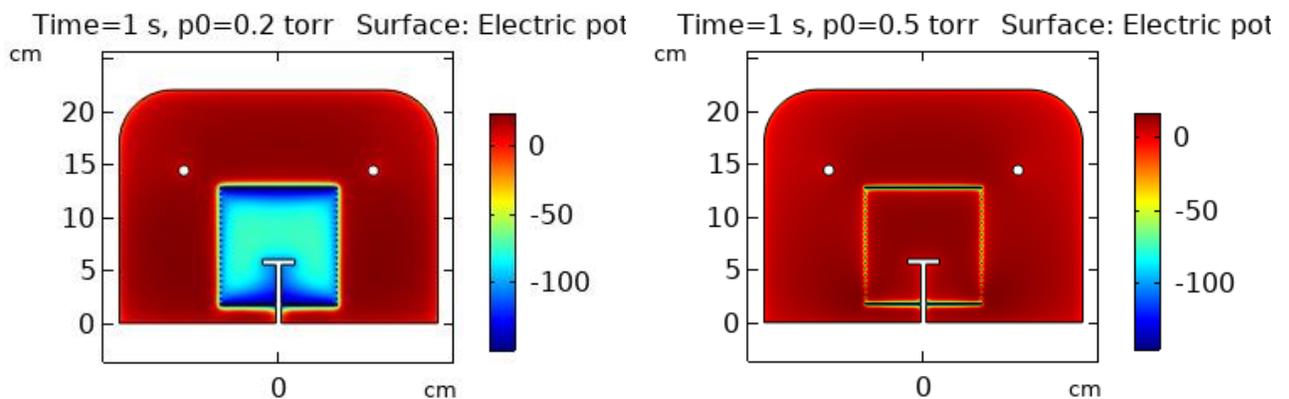
Plasmas em baixa pressão são largamente utilizados para o tratamento de materiais com o propósito de promover modificações superficiais através de recobrimento, funcionalização, limpeza, dentre outros processos. Particularmente, grupos funcionais podem ser inseridos na superfície de polímeros tanto através de reações químicas quanto através do bombardeamento da superfície por íons e elétrons. No entanto, o fluxo de energia devido a incidência de partículas carregadas pode ocasionar um aquecimento excessivo do polímero, degradando-o. Logo, são necessárias estratégias que minimizem este aquecimento para um eficiente tratamento superficial. Dentre as propostas existentes está o uso de sistemas de gaiola catódica, no qual a amostra é posicionada dentro de uma gaiola que funciona como o cátodo da descarga elétrica. Dependendo da pressão e da geometria da gaiola, o plasma pode ser formado dentro ou fora da mesma. No segundo caso, o fluxo de energia para a amostra é minimizado, permitindo o tratamento de substratos termicamente sensíveis, mas que ainda receberão o bombardeamento de espécies ativas geradas no plasma. Com o intuito de dar suporte às pesquisas experimentais do Laboratório de Plasmas, Filmes e Superfícies da UDESC, este trabalho objetiva realizar a simulação de plasmas de Ar gerados em gaiola catódica a partir de uma fonte de corrente contínua. Em particular, analisamos a distribuição espacial do plasma para diferentes pressões de trabalho, de forma a mapear a faixa de pressão em que o plasma é formado fora da grade.



**Figura 1.** Distribuição da densidade de plasma para uma pressão de 100 mTorr (esquerda) e para uma pressão de 500 mTorr (direita). A grade é fechada na parte inferior e no topo, tendo as aberturas somente na lateral. No centro da grade se encontra o porta-amostra. O ânodo possui formato circular e está localizado na parte superior do reator. A base do reator é aterrada e as paredes são dielétricas.

As simulações foram realizadas com o módulo de Plasma do programa COMSOL *Multiphysics*, a partir da solução dos momentos da equação de Boltzmann, ou seja, trata-se de um modelo onde os elétrons são tratados como um fluido. A geometria 2D do sistema adapta o reator instalado no laboratório. A função distribuição de energia dos elétrons é considerada maxwelliana e apenas três espécies pesadas são consideradas: Ar neutro (Ar), Ar ionizado ( $\text{Ar}^+$ ) e Ar metaestável ( $\text{Ar}^m$ ). O conjunto de reações e as respectivas taxas são o conjunto padrão do *software* para plasmas de Ar. Na simulação, o cátodo (gaiola) é conectado a uma fonte de tensão contínua fixa em  $-150\text{ V}$  através de um resistor de  $1000\ \Omega$  e a pressão foi variada entre 100 e 500 mTorr.

Observa-se que para baixas pressões, o plasma é gerado fora da gaiola catódica, porém aumentando a pressão, o plasma consegue penetrar a grade (Figura 1). Esta penetração está relacionada com o aumento do produto  $pd$ , onde  $p$  é a pressão e  $d$  é o tamanho dos furos da grade. Com o aumento do produto  $pd$ , a probabilidade de formação de plasma entre os fios da gaiola aumenta, permitindo a geração de plasma dentro da mesma. Observa-se também que a densidade de plasma é maior no segundo caso devido ao efeito de cátodo oco, isto é, os elétrons ficam confinados dentro da gaiola, aumentando a taxa de ionização. As simulações mostram também que quando o plasma é mantido fora da gaiola, o potencial dentro da mesma atinge potenciais negativos próximos ao da tensão aplicada (Figura 2), o que concorda com observações experimentais realizadas anteriormente. Esta diferença de potencial no interior da grade indica uma mudança no tipo de partícula que incide predominantemente na amostra, o que será investigado em trabalhos simulacionais e experimentais futuros.



**Figura 2.** Distribuição do potencial elétrico à uma pressão de 200 mTorr (esquerda) e para uma pressão de 500 mTorr (direita).

**Palavras-chave:** Plasma. Gaiola catódica. Modelo de fluidos.