

PRÉ-IONIZAÇÃO E AQUECIMENTO DE PLASMAS COM LASER DE CO₂

Nicolau A.S. Rodrigues
Instituto de Estudos Avançados-CTA-S.J.Campos

Luis C.S. Goes
José P. Sudano
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - CTA
S.J.Campos

São apresentados resultados experimentais de ruptura de N₂ gasoso por pulsos intensos de laser de CO₂, em função da pressão do gás. Ficam evidenciados dois regimes distintos: um onde o processo de perda é predominantemente devido a difusão de partículas da região focal ($p < 300$ mbar) e o outro devido a excitação colisional das moléculas de N₂ ($p > 300$ mbar).

Palavras chave: Laser-Plasma, ruptura de gases e ionização.

1. INTRODUÇÃO

A pre-ionização e o aquecimento de plasmas por irradiação laser tem despertado grande interesse na comunidade científica mundial, em conexão com suas aplicações na fusão termonuclear controlada e no desenvolvimento de processos tecnológicos de plasmas a baixas temperaturas. Esses processos tem sido exaustivamente investigados, e excelentes artigos de revisão das técnicas e resultados experimentais são disponíveis na literatura [1,2].

Neste trabalho, resultados experimentais preliminares do estudo da interação laser-plasma realizados no IEAV-CTA, são apresentados.

2. MONTAGEM EXPERIMENTAL

O diagrama da montagem experimental utilizada nas investigações laser-plasma está esquematizado na figura 1. O sistema consiste de um laser de CO₂-TEA ($\lambda = 10,6 \mu\text{m}$), uma câmara de alvos

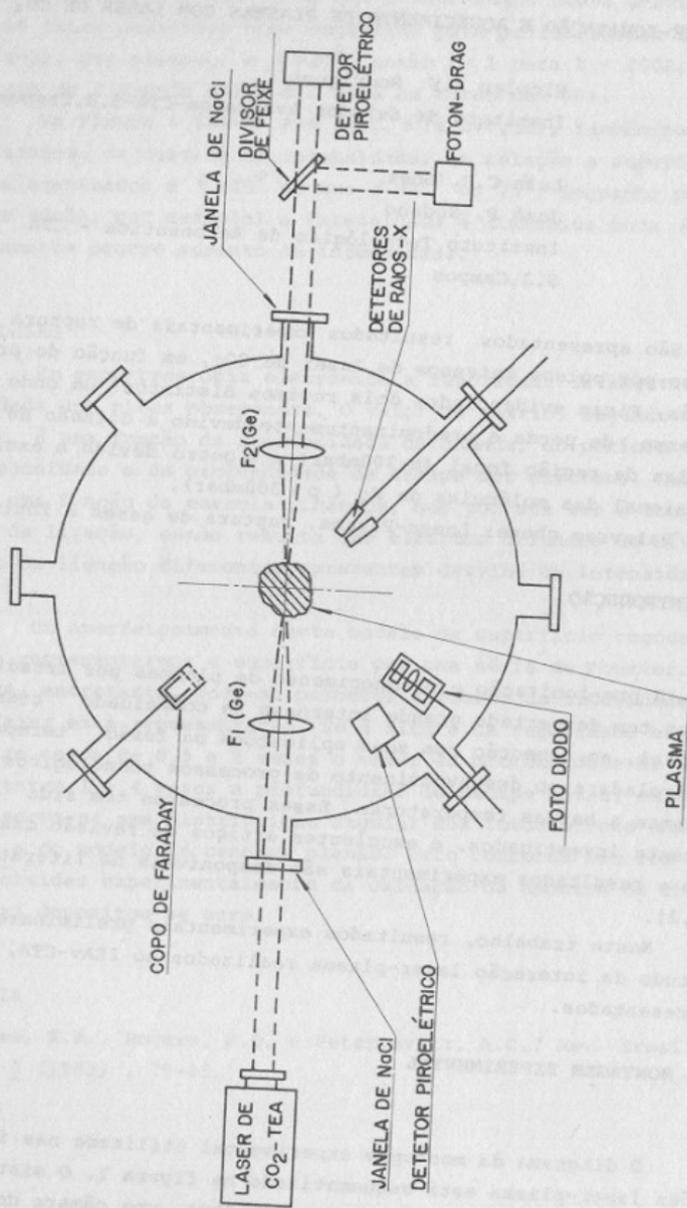


FIGURA 1 - MONTAGEM EXPERIMENTAL

e equipamentos auxiliares para produção de vácuo e diagnóstico do plasma.

Na primeira fase dos experimentos, um oscilador de CO_2 com excitação transversal, desenvolvido no IEAV-CTA, com 150mJ de energia por pulso, com duração de 80ns, oscilando em monomodo transversal, foi empregado como impulsor.

A câmara de alvos é um vaso de vácuo cilíndrico, construído em aço-inox, com uma capacidade de 100 litros e uma pressão de base de $1,4 \times 10^{-9}$ bar. Em oito flanges são montados janelas para feixe de laser, passadores de detetores, sondas etc...

Os diagnósticos de plasma implementados no curso dos experimentos, incluem: analisador eletroestático de energia, foto-detector com filtros de interferência, detector PIN de raios-X moles (SXR) e detector de partículas piro/piezoelétrico. Os diagnósticos de laser incluem: detector de potência (tipo- photon-drag) e detector de energia tipo piroelétrico.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nas experiências de irradiação de gases, o plasma é gerado pela ruptura do gás de Nitrogênio neutro, na faixa de pressão de 0,13 - 0,97 bar. O feixe de laser incidente é focalizado no interior da câmara, e em seguida recolimado por um sistema de lentes confocais. A potência do laser foi variada entre 0,54MW e 1,3MW. As características de ruptura do gás foram estudadas com duas lentes (Ge) de comprimento focal 5,08cm e 3,81cm, respectivamente. A divergência do feixe de laser foi estimada em 1 mrad, e a densidade de potência na região focal, correspondente a uma potência nominal de saída de 1MW, foi estimada em $1,2 \times 10^{10} \text{W/cm}^2$ (para $F=5,08$ cm) e $2,13 \times 10^{10} \text{cm}^2$ (para $F=3,81$ cm).

As características de absorção do plasma foram determinadas medindo-se a potência instantânea, e a energia do pulso de laser transmitido pelo plasma.

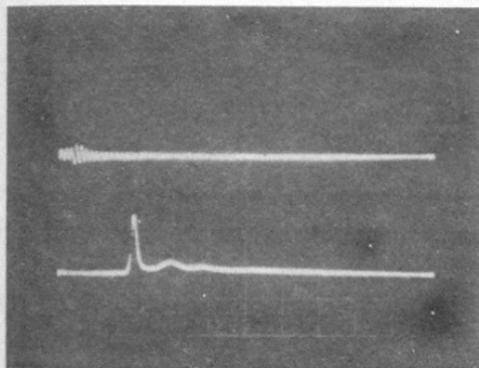
A absorção do pulso de laser é seguida de uma rápida ionização do gás, conforme indicado pela radiação de linha emitida pelo plasma. A radiação emitida na faixa do visível é captada por um conjunto foto-detector e filtros de interferência. No caso de gás de Nitrogênio, emissões de linha com comprimentos de onda

centrais $\lambda = 4000\text{\AA}$, 4450\AA , 4868\AA e 5200\AA , foram detetadas. Os filtros de interferência utilizados possuem uma largura a meia altura (FWHM) de 100\AA . A radiação mais intensa corresponde a linha do NII, em $\lambda = 5180\text{\AA}$. As linhas do NII em 4860\AA , e do NIII em 4867\AA , possuem a menor intensidade relativa. As figuras 2.a e 2.b mostram um sinal típico do foto-detetor rápido (traço superior), e do pulso de laser (traço inferior), com e sem plasma, respectivamente. A correlação entre a potência absorvida e a radiação emitida pelo plasma é indicada pelo segundo máximo no sinal do foto-detetor rápido (figura 2.b), que coincide com o pico secundário na evolução do pulso de laser (figura 2.a).

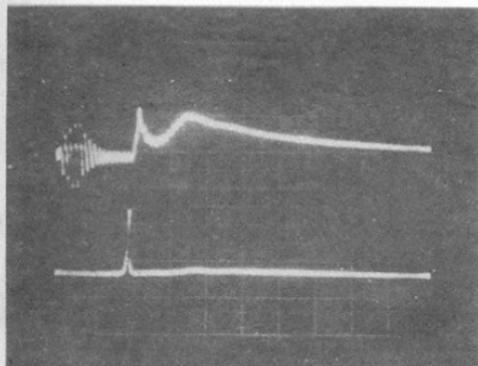
A intensidade crítica na região focal do laser, requerida para iniciar o processo de ionização por avalanche, foi investigada em função da pressão do gás neutro. A densidade de potência na região focal foi variada através da distância focal das lentes e energia do pulso de laser. A intensidade crítica foi determinada medindo-se a potência instantânea do feixe transmitido pela região focal, no momento da ruptura do gás neutro. Esse método mostrou-se consistente com o procedimento baseado na variação da energia do pulso de laser, para ocorrência da ruptura do gás em 50% dos disparos. Em ambos os casos, a incerteza na determinação da intensidade mínima de ruptura é da ordem de 30%.

A variação da intensidade crítica de ruptura em função da pressão do gás de N_2 , para dois valores do parâmetro focal das lentes ($F = 5,08$ e $3,81$ cm), está mostrada nas figuras 3 e 4, respectivamente. Em ambos os casos, a intensidade crítica possui uma acentuada dependência com a pressão do gás, abaixo de 300 mbar. Para as condições experimentais dadas ($P_0 = 1,2$ MW), a pressão crítica de ruptura é da ordem de 100 mbar para $F = 5,08$ cm, e 120 mbar para $F = 3,81$ cm. As densidades de potência no limiar de ruptura, são: 10^{10} W/cm² para $F = 5,08$ cm, e $2,2 \times 10^{10}$ W/cm² para $F = 3,81$ cm.

Para pressões de base acima de 300 mbar, a intensidade crítica é independente da pressão do gás, atingindo um valor aproximado de $2,0 \times 10^9$ W/cm². A variação da intensidade mínima com o parâmetro focal encontra-se dentro do limite de incerteza das medidas de intensidade. Entretanto, a extrapolação da dependência funcional com a pressão do gás indica que a intensidade crítica varia inversamente com a distância focal das lentes.



a) Sem formação de plasma.



b) Com formação de plasma.

Figura 2: Sinais característicos do foto diodo (traço superior, 2V/divisão) e do detetor de potência do laser (traço inferior, 10mV/divisão) sem e com formação de plasma.
Escala horizontal : 500ns/divisão.

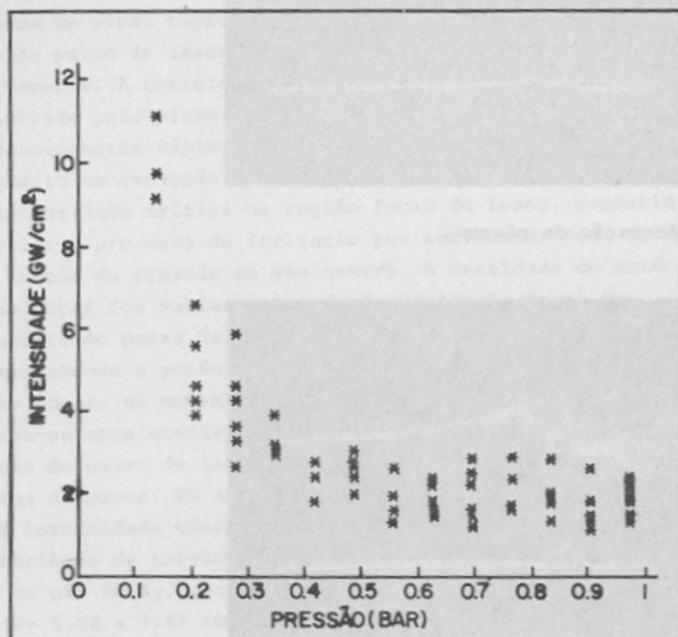


Figura 3: INTENSIDADE CRÍTICA (EM UNIDADES DE GW/cm^2) VERSUS PRESSÃO PARA UMA DISTÂNCIA FOCAL DE 5,08 cm E POTÊNCIA DO PULSO DO LASER DE 1 MW.

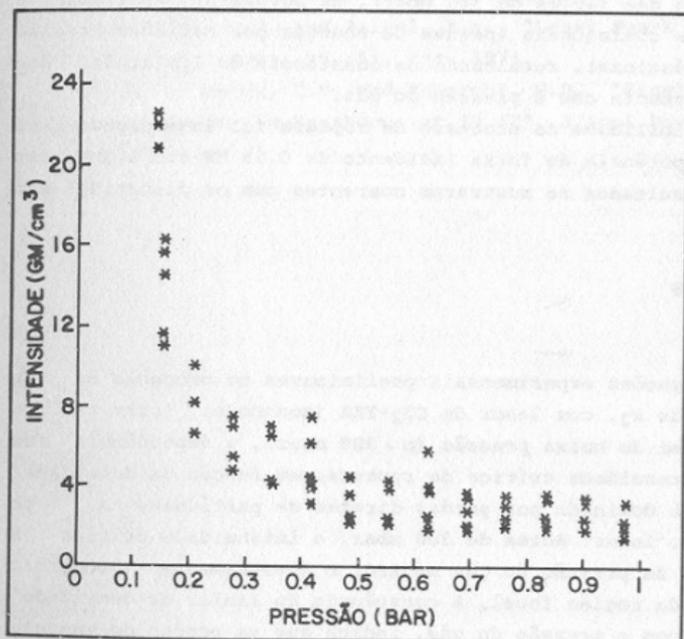


Figura 4: INTENSIDADE CRÍTICA (EM UNIDADES DE GW/cm^2) VERSUS PRESSÃO PARA UMA DISTÂNCIA FOCAL DE 3,81 cm E POTÊNCIA DO PULSO DO LASER DE 1 MW.

Esses resultados são consistentes com as determinações experimentais, em gases moleculares de O_2 e mistura de Ar, realizadas por Chan, Moody and McKnight [3]. De acordo com a teoria de ionização pelo processo cascata, a dependência funcional da intensidade crítica, no regime de baixa pressão, é dominada pelas perdas por difusão livre de partículas na região focal. No regime de alta pressão do gás (acima de 300 mbar), as perdas são dominadas por processos colisionais (perdas de energia por colisões elásticas e inelásticas), resultando na constância do limiar da densidade de potência com a pressão do gás.

A repetibilidade do processo de ruptura foi investigada variando-se a potência do feixe incidente de 0,56 MW até 1,3 MW, sendo que os resultados se mostraram coerentes com os discutidos acima.

4. CONCLUSÕES

Investigações experimentais preliminares do processo de ruptura de gás de N_2 , com laser de CO_2 -TEA (monomodo), foram realizadas. No regime de baixa pressão ($p < 300$ mbar), a dependência funcional da intensidade crítica de ruptura, em função da densidade de neutros, é dominada por perdas diretas de partículas na região focal do laser. Acima de 300 mbar, a intensidade crítica é independente da pressão do gás neutro, e inversamente proporcional ao raio da região focal. A constância do limiar da densidade de potência com a pressão do gás, indica que as perdas de energia por processos colisionais são importantes (p.ex. perdas devido a excitação vibracional da molécula de N_2).

Estudos adicionais da interação laser-plasma incluem a otimização de um oscilador híbrido de CO_2 e dois estágios amplificadores. A energia do pulso, monomodo longitudinal e transversal, é da ordem de 5-10 Jôules. Um sistema de obturação com plasma está em fase de desenvolvimento, visando a compressão do pulso de laser em torno de 5 ns. Os sistemas de diagnóstico de plasma em fase de desenvolvimento incluem: interferômetro heteródino tipo Mach-Zehnder, um espectrômetro de Bragg (Raio-X) e sondas electrostáticas múltiplas. Um sistema de aquisição de dados com digitalizadores rápidos (1,3 GHz), baseado no padrão CAMAC

está previsto.

REFERÊNCIAS

1. Hughes, T.P., "Plasma and Laser Light", Published by Adam Hilger Ltd., 1975, London, Great Britain.
2. Ostrovskaya, G.V. and Zaidel, A.N., "Laser Spark in Gases", Soviet Phys. Usp., 16 (6), 834, 1975.
3. Chan C.H., Moody, C.D. and McKnight, W.B., "Significant Loss Mechanisms in Gas Breakdown at 10.6 μ ", J.Appl.Phys., 44(3), 1179, 1973.