

PRODUÇÃO E DIAGNÓSTICO DO PLASMA PRODUZIDO
POR LASER EM UM SÓLIDO DE NÍÓBIO*.

D.de O.Campos, H.K.Böckelmann e R.Y. Honda
Instituto de Física "Gleb Wataghin", UNICAMP
C.P. 6165, Campinas - SP.

Serão apresentados resultados de alguns diagnósticos feitos em um plasma produzido por um laser de rubi de alta potência (160MW) focalizado na superfície de um cristal de Nb numa câmara de alto vácuo.

A temperatura do plasma gerado foi obtida espectroscopicamente pela emissão de linhas dos íons e átomos do Nb. Além da determinação da velocidade de expansão do plasma, também foi estudada a dinâmica de expansão do plasma.

Vácuo, Plasma, Diagnósticos

1. INTRODUÇÃO

A montagem experimental (fig.1) consiste basicamente de uma câmara de alto vácuo (1) (7×10^{-7} Torr), dentro da qual é colocado um cristal de Nb. O raio do laser de rubi ($\lambda=6.943\text{\AA}$, pulso de 160mW, 40 ns) é focalizado por uma lente ($f=8\text{cm}$) na superfície do cristal de Nb, obtendo uma potência por unidade de área da ordem de 10^{12} - 10^{14}W/cm^2 , e então ocorre uma rápida ionização e consequente formação de plasma, o qual se expande na câmara de vácuo.

Três métodos de detecção das linhas espectrais espalhadas por um espectrômetro foram utilizadas, a saber: a) método fotográfico, b) analisador óptico de multicanais (OMA) (1) e c) por uma fotomultiplicadora.

Estes três métodos serviram para identificar linhas es-

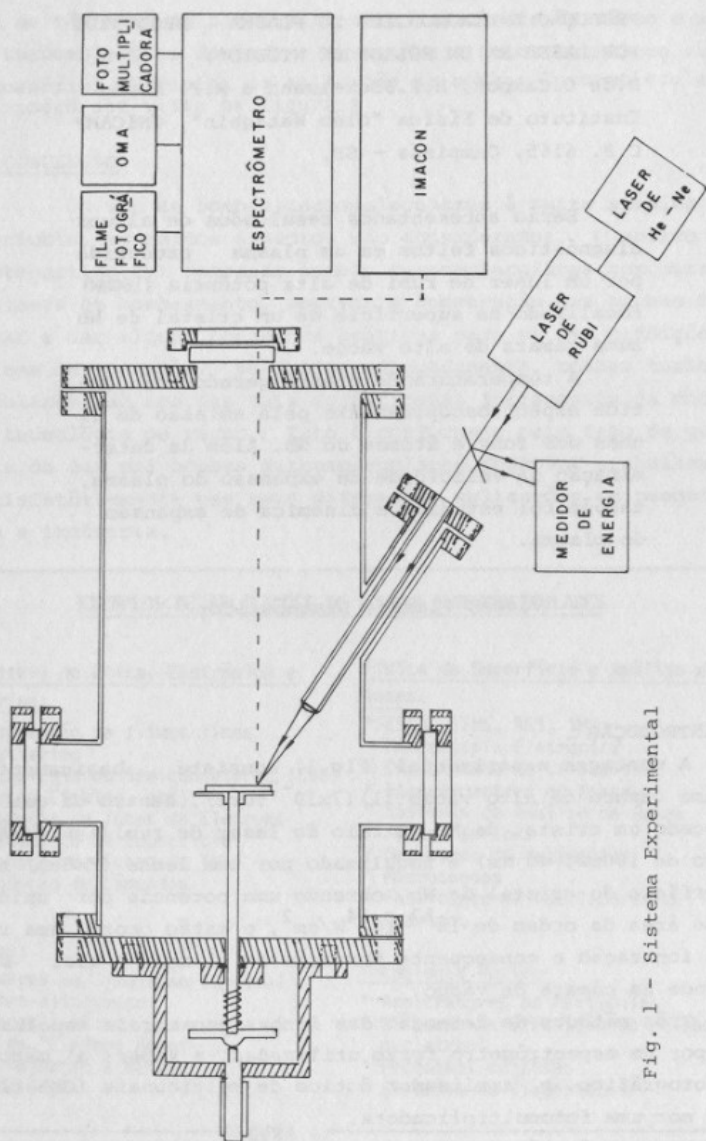


Fig. 1 - Sistema Experimental

pectrais do plasma, determinar a temperatura, e a velocidade de expansão do plasma (pela evolução temporal de uma linha).

Através de uma câmera conversora de imagens (IMACON) (1) foi efetuada a evolução espacial (com o tempo) do plasma.

2. IDENTIFICAÇÃO DE LINHAS ESPECTRAIS EMITIDAS PELO PLASMA PELO MÉTODO FOTOGRÁFICO.

Uma câmera fotográfica com filme ultra-rápido (Kodak 2485) acoplada à saída de um espectrômetro ($f=75\text{cm}$) permitiu a observação simultânea de uma região espectral de aproximadamente $400\text{ \AA}$ (ao redor de $4000\text{ \AA}$) em 1^{a} ordem, do plasma gerado pelo raio laser.

Através de um microdensitômetro identificamos algumas linhas do espectro de emissão mais intensas. Utilizamos o método fotográfico na identificação das linhas porque ele dá maior resolução espectral em relação ao analisador óptico de multi-canais, já que o espectro emitido pelo plasma de Nb apresenta um grande número de linhas (Fig. 2) e algumas delas aparecem mascaradas quando observadas pelo OMA.

3. MEDIDA DA TEMPERATURA DE ELETRONS

Uma vez identificadas as linhas, acoplamos o espectrômetro ao detector do OMA, que permite a observação de uma região do espectro de aproximadamente $150\text{ \AA}$ (1^{a} ordem), através de seus 500 canais independentes.

Para medida da temperatura, utilizamos a equação de Einstein-Boltzmann para a intensidade espectral de uma linha (supomos também a condição de equilíbrio térmico local - LTE): Ref. 2,3.

$$I = \frac{N}{u} h\nu g_A \exp(-E/KT)$$

onde:

I = Intensidade da linha

u = Função de partição

N = Densidade de partículas

g = Peso estatístico do nível superior

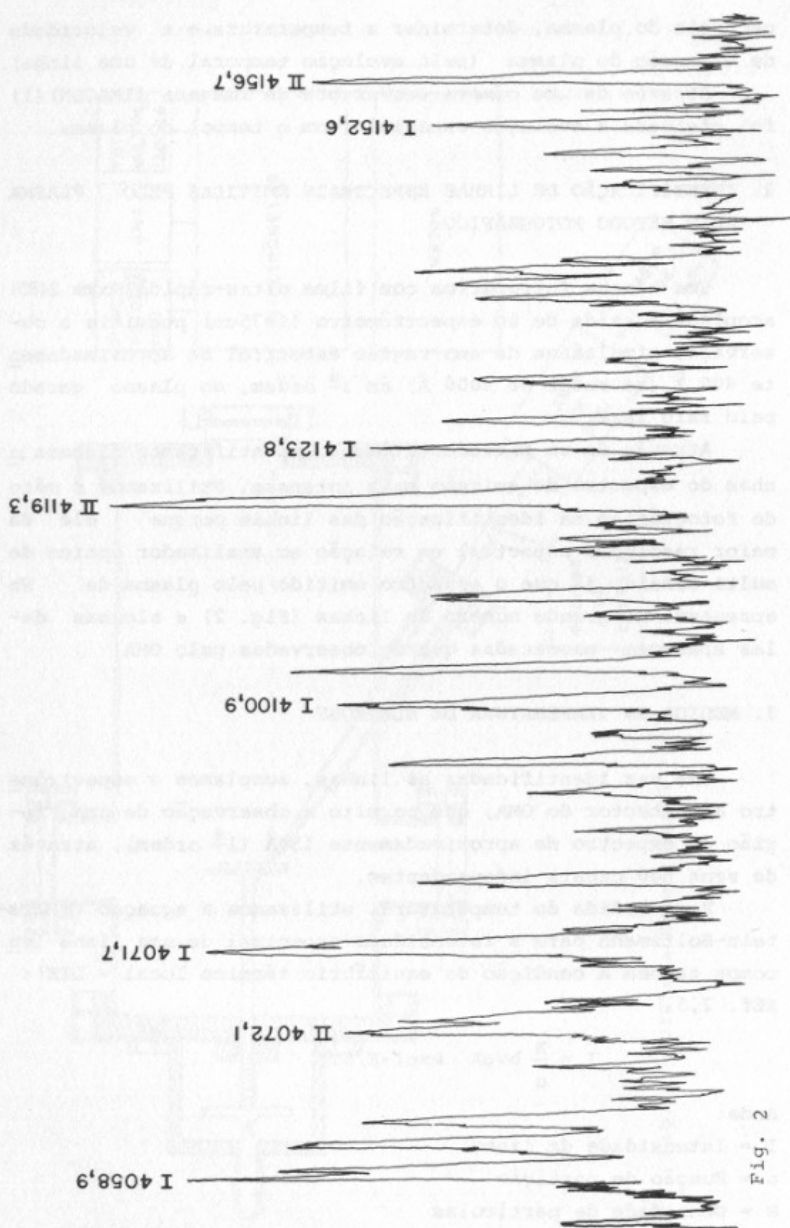


Fig. 2

Fig. 3 - Medida da Temperatura
Eletrônica - NbII

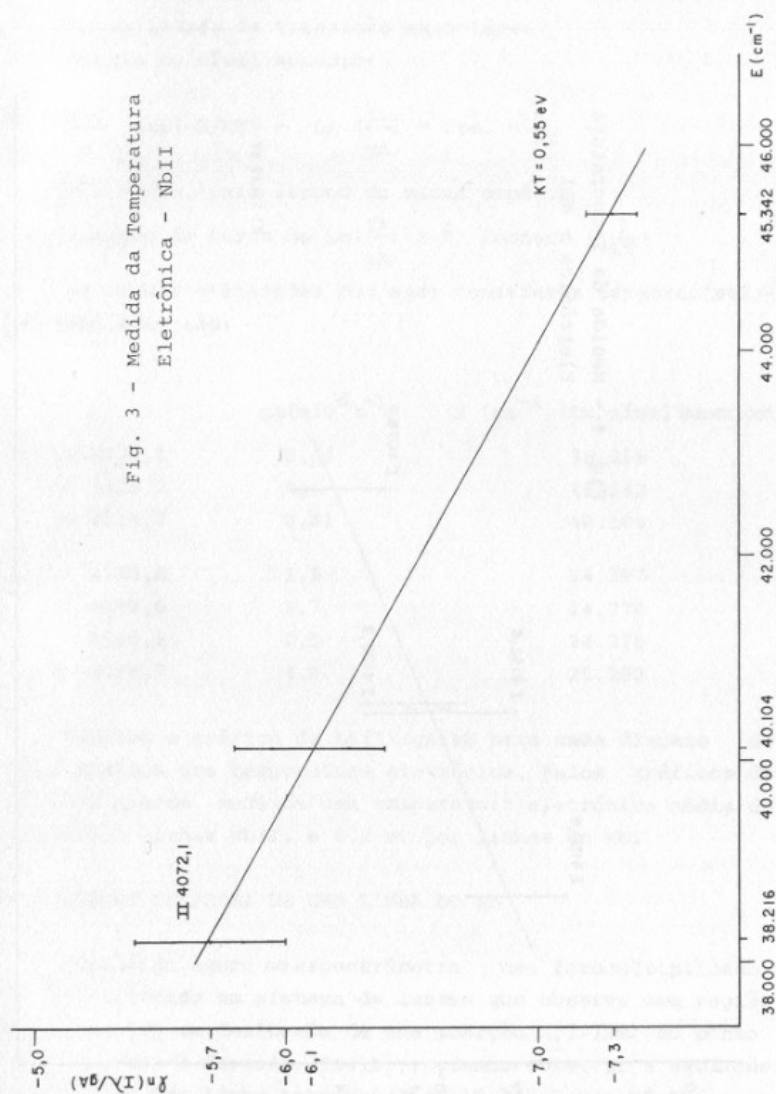
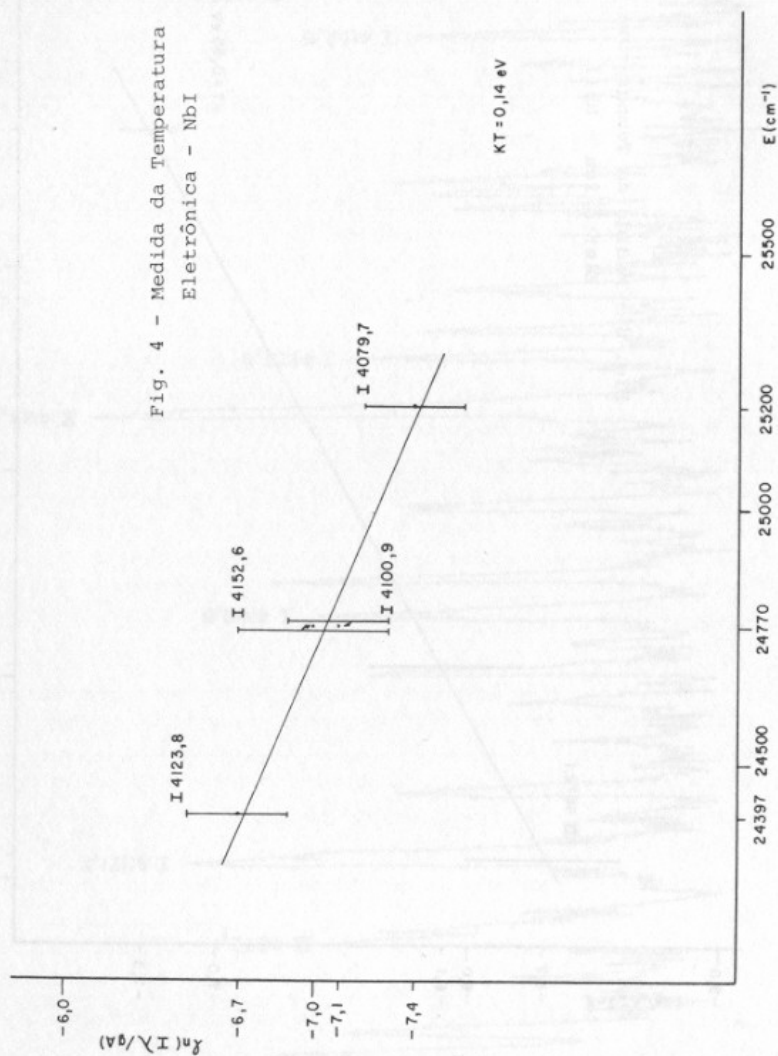


Fig. 4 - Medida da Temperatura
Eletrônica - NbI



A = Probabilidade de transição espontânea

E = Energia do nível superior

$$\frac{I\lambda}{gA} = \frac{N_h C}{u} \exp(-E/KT) \rightarrow \ln \left(\frac{I\lambda}{gA} \right) = \text{Cte.} - \frac{E}{KT}$$

$$\ln \left(\frac{N_h C}{u} \right) = \text{Cte. para átomos de mesma espécie}$$

$$\text{A inclinação da curva de } \ln \left(\frac{I\lambda}{gA} \right) \times E \text{ fornece } - \frac{1}{KT}.$$

As linhas utilizadas com suas constantes características tabeladas são:

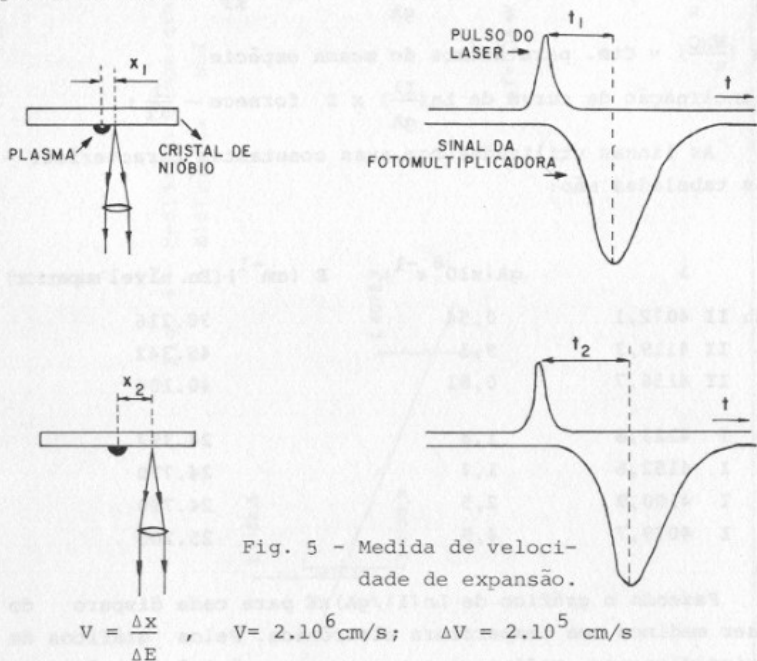
	λ	$gA (\times 10^8 \text{ s}^{-1})$	E (cm ⁻¹) (En. nível superior)
Nb II	4072,1	0,54	38.216
	4119,3	9,1	45.342
	4156,7	0,81	40.104
Nb I	4123,8	1,8	24.397
	4152,6	1,7	24.770
	4100,9	2,5	24.770
	4079,7	4,9	25.200

Fazendo o gráfico de $\ln(I\lambda/gA) \times E$ para cada disparo do laser medimos uma temperatura eletrônica. Pelos gráficos de vários disparos, medimos uma temperatura eletrônica média de 0,6 eV por linhas NbII, e 0,2 eV por linhas do NbI.

4. EVOLUÇÃO TEMPORAL DE UMA LINHA DO Nb

Acoplando agora ao espectrômetro uma fotomultiplicadora, e utilizando um sistema de lentes que observa uma região de aprox. 120 μm deslocada de uma posição x_1 (~1mm) do ponto onde o plasma é formado (fig.5), pudemos observar a evolução temporal de uma linha intensa (II4.119,3Å), cujo máximo aparece deslocado do máximo do pulso do laser de um tempo t_1 , quando os dois sinais (pulso do laser e fotomultiplicadora) são observados simultaneamente na tela de um osciloscópio (Teknotrix 556). Repetindo o processo, agora com o sistema

de lentes observando uma região deslocada de x_2 (~2mm, ou até mesmo 3mm) do ponto de formação do plasma, observamos um atraso maior do sinal da linha com relação ao pulso do laser. Pelas variações de x e de t , medimos a velocidade de expansão do plasma.

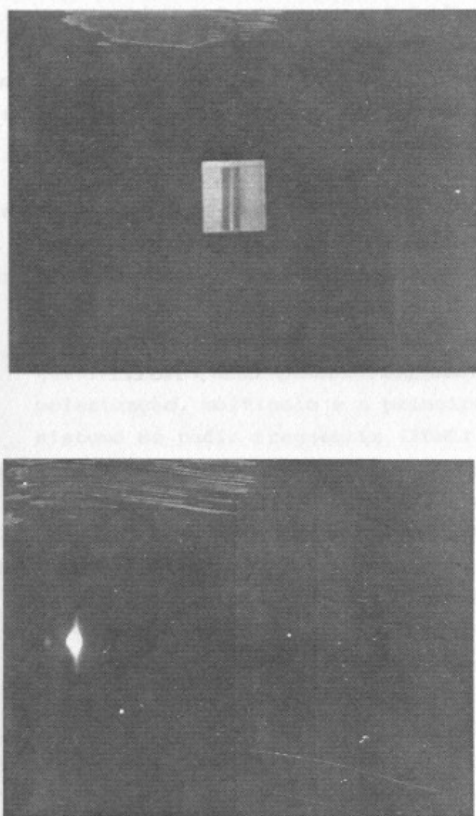


o que corresponde a uma energia dos íons e átomos excitados de aprox. 385 eV.

Um sinal de radiação contínua bastante intenso foi observado na região de formação do plasma, que tem seu máximo deslocado de aprox. 80ns do máximo do laser.

5. DINÂMICA DE EXPANSÃO

Utilizando uma câmera conversora de imagens IMACON que permite em seu modo "Streak" a observação de uma região do plasma através de uma fenda e desloca temporalmente a posição da fenda quando registrada em um filme fotográfico, pude



ESCALA : 100 nS/mm (HORIZONTAL)

Fig. 6 - Observação com a IMACON

mos observar a evolução do plasma, que se "apaga" $\pm 3\text{mm}$ depois do ponto onde foi formado.

O tempo de "passagem" do plasma pela fenda coincide com o observado pela evolução temporal de uma linha, isto é: aprox. 300 ns (fig.6).

Para utilização da IMACON, usamos um sistema de lentes que aumenta a imagem do plasma de 3x. Na posição de formação da imagem real foi então colocada a fenda ($\sim 300\mu\text{m}$) que estava sendo observada pela IMACON.

Agradecemos ao Deptº de Raios Cósmicos do IFGW pela utilização do microdensitômetro, e ao Laboratório de Baixas Temperaturas do DFESCM do IFGW pelo fornecimento do cristal de Nióbio.

* Trabalho financiado por: FINEP, CNEN, FAPESP

6. REFERÊNCIAS

1. Plasmas Produzidos por Laser Incidente em Sólidos
D.O.Campos e H.K.Bckelmann
Rev.Bras.Apl.Vc., Vol. 4, nós 1 e 2, pág.125, 1984.
2. Experimental Transition Probabilities for Spectral
Lines of Seventy Elements. National Bureau of
Standards - 1962.
3. Plasma Spectroscopy
Griem, H.
McGraw-Hill, New York, 1964.