Revista Brasileira de Aplicação de Vácuo, Vol. 10, nº 1, 1991

OPERAÇÃO COM HIDROGÊNIO NA C.C.R. TG-I UNICAMP

E.A.Aramaki*, M.Machida**, R.Y.Honda***, P.Porto, L.A.Berni

Inst. de Física/Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP
*Faculdade de Eng. de Guaratinguetá/UNESP, Guaratinguetá, SP
**Inst. de Física/Universidade de São Paulo, São Paulo, SP
***Inst. de Física/Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ
Brasil

RESUMO

O constritor de campo reverso Toróide Compacto-I em funcionamento no Laboratório de Plasmas da UNICAMP esta operando atualmente com gás hidrogênio. A máquina iniciou sua operação com gás hélio no qual foram realizados inúmeros estudos. Com a mudança, foi necessário determinar novos padrões de operação da máquina no que concerne à pressão de operação, tempo de pré-ionização e campo de polarização. Foram realizados mapeamentos magnéticos com sonda interna múltipla, medidas de temperatura iônica com a utilização do sistema OMA Espectrômetro e fotografias ultra rapidas com IMACON.

Os dados indicam a existência de plasma do tipo "halo" mais comum do que no caso do hélio que também foi confirmado por mapeamento magnético. A temperatua iônica foi estimada através das linhas de CII (6578 Å) e H_{alfa} (6562.8 Å), com os valores de 28.3 eV na borda e 186 eV no interior do plasma. Um outro fenômeno observado com a operação em hidrogênio é a obtenção de plasmas com modos n=2, em geral n=4, sem auxílio de multipolo ou divertor magnético. Este modo não apresenta rotação e permanece estável por aproximadamente 1 s.

A máquina TC-I do Laboratório de Plasma da UNICAMP é um theta-pinch na configuração de campo reverso (C.C.R.) com 16 cm de diâmetro, 65 cm de comprimento, contendo dois espelhos passivos na extremidade (15 cm de diâmetro) e um campo magnético máximo de 30 kJ, em operação há aproximadamente dois anos.

Os parâmetros do campo reverso e a dinâmica da implosão têm sido estudados com a utilização dos seguinte sistemas de diagnósticos: sonda magnética externa, sonda Rogowski, sonda de fluxo excluído, espectroscopia no visível com utilização de OMA (500 canais), conjunto de fotodiodos e IMACON (câmera de fotos ultra rápidas).

O tubo de vácuo onde o plasma é produzido é um tubo pirex de 14 cm de diâmetro interno, conectado a um sistema de vácuo com bomba difusora resfriada a Nitrogênio liquido, que permite obter uma pressão de base de 4.10^{-7} Torr.

Uma vista esquemática da máquina com seus sistemas de diagnósticos é mostrada na fig. I.

Os primeiros estudos [1,2] realizados nessa máquina, com a utilização do gás Hélio, nos fornece uma pressão ótima de 10 mTorr e uma temperatura iônica de 70 eV (fig. II-a e II-b). Nessa fase não se observou a formação da C.C.R. (fig.III).

Desde então, foram introduzidas inúmeras modificaçoes nos parâmetros da máquina, tais como a tensão de carga dos capacitores do banco principal, de pré-ionização e polarização, bem como no comprimento e no número de cabos da linha de transmissão dos capacitores no solenóide.

Os valores acuais do banco principal, de pré-ionização e de polarização são atualmente 22 kV, 25 kV e 70 kV, respectivamente, e o tempo de subida do campo magnético é de 4,0 s.

Na fase intermediária dessas alterações, ja foi observada a formação da C.C.R. [3], através do campo magnético e da medida do raio da separatriz (0,8 cm) com sonda de fluxo excluído.

Nas recentes condições de operação para o gás hélio foi obtida uma pressão ótima de 40 mTorr e campo magnético máximo de 6 k Gauss.

A fig. IV-a mostra o mapeamento radial de Bz durante a implosão feita com sonda interna e a fig. IV-b, os sinais de fluxo excluído com e sem sonda interna. Os dados ainda indicam a existência de plasma do tipo "halo" [4], observada tanto para o hélio como para o

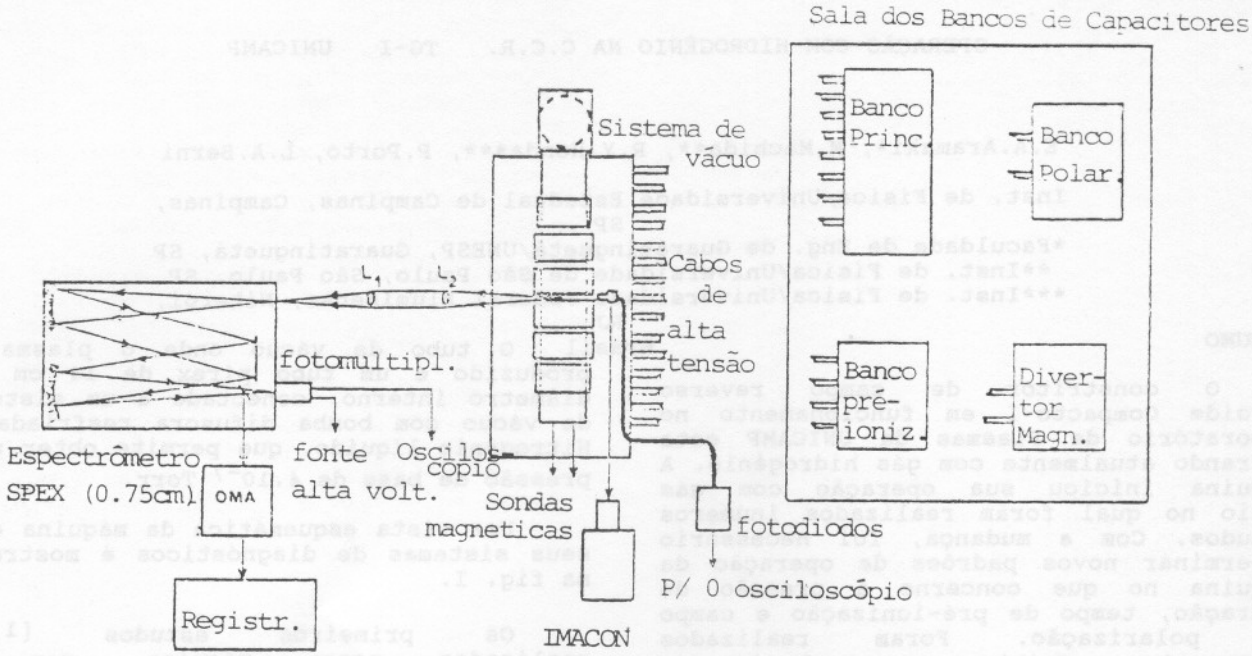


Fig.I- Vista esquemática da máquina TC-I

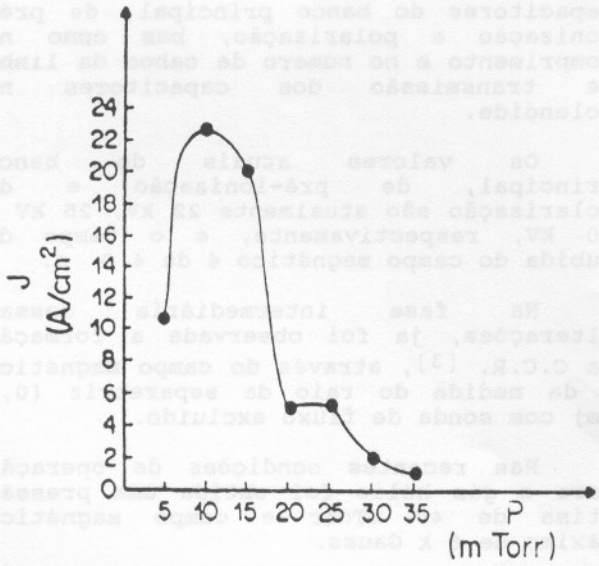


Fig. II-a (1): Densidade de corrente para diferentes pressões do gás, medida 3 s após a descarga do banco principal.

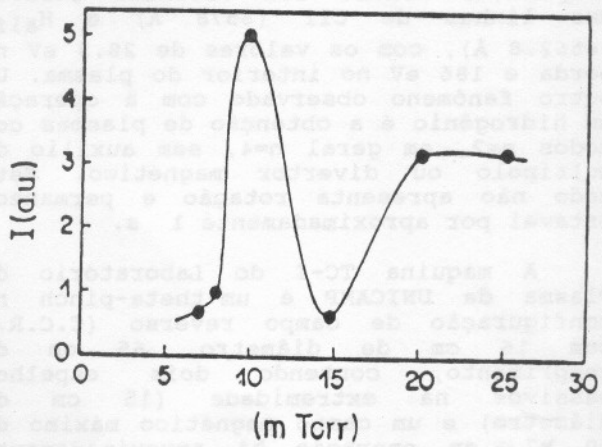


Fig. II-a (2): Sinal do espectrômetro para diferentes pressões do gás, linha do He II(4686 Å).

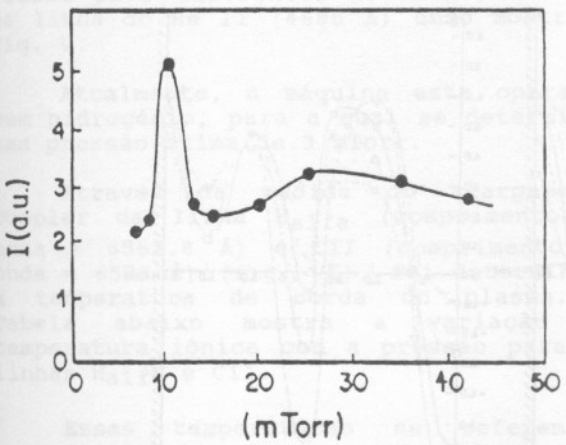


Fig. II-a (3): Sinal do fotodiodo para diferentes pressões do gás, t=3 s.

Fig. II-a (1, 2, 3): Curvas de Intensidade versus Pressão de operação obtidas com medidas de copo de Faraday, espectrômetro e fotodiodo. Todas as curvas apresentam um máximo de 10 mTorr.

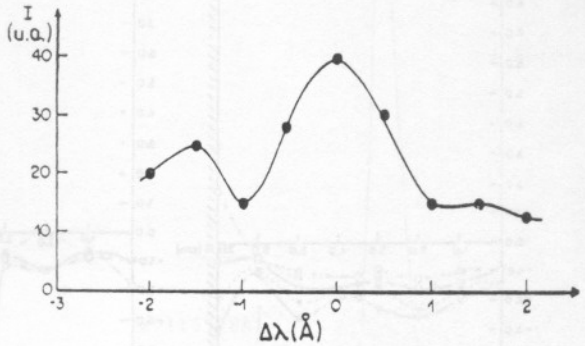


Fig. II-b: Curva de alargamento Doppler da Linha He II(4686 Å) para a determinação da temperatura iônica do plasma (70 eV).

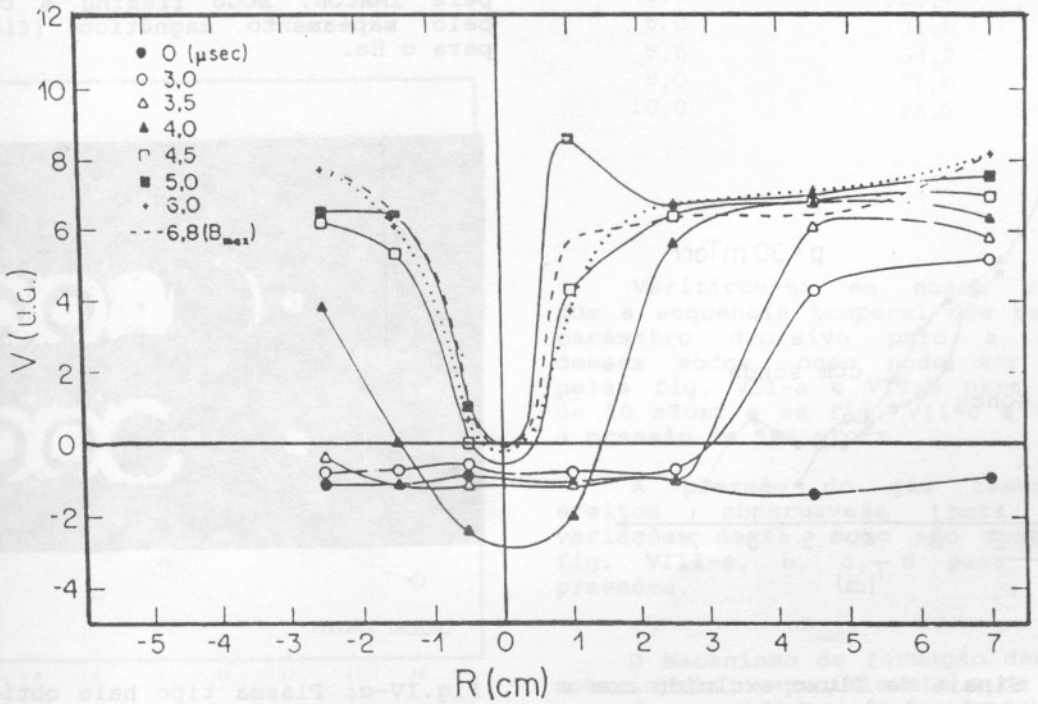


Fig. III: Mapeamento radial do campo magnético B_z durante a implosão obtida com sonda magnética interna.

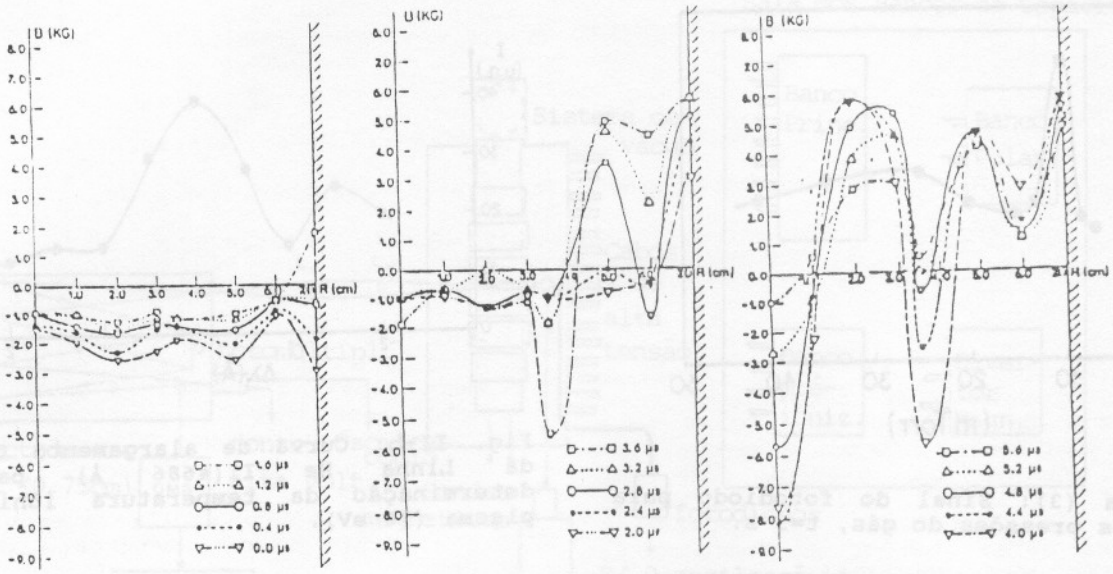


Fig. IV-a: Mapeamento radial do campo magnético B_z, durante a implosão, medida com sonda interna.

hidrogênio, como na fig. IV-c, obtida pela IMACON, modo framing e confirmada pelo mapeamento magnético (fig. IV-a) para o He.

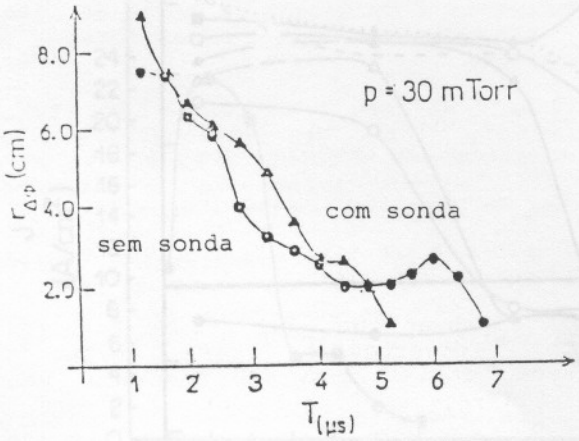


Fig. IV-b: Sinais de fluxo excluído com e sem sonda interna dentro do plasma.

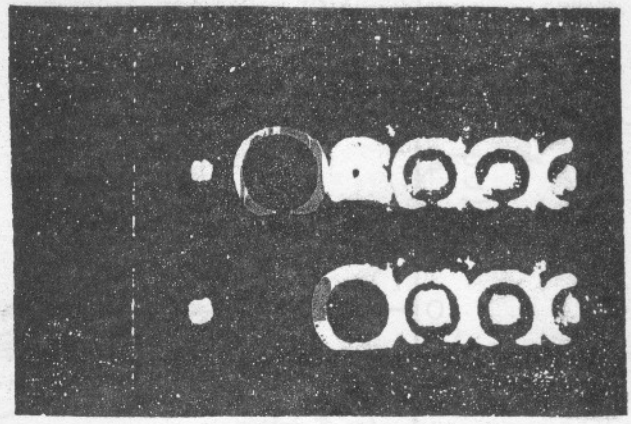


Fig.IV-c: Plasma tipo halo obtida para o gás He e H. Esta foto é para o caso H.

Nessa fase do experimento, foi determinada a temperatura iônica do plasma para diferentes pressões, através da linha do He II (4686 Å) como mostra a fig. V.

Atualmente, a máquina esta operando com hidrogênio, para a qual se determinou uma pressão ótima de 3 mTorr.

Através da medida do alargamento Doppler da linha H_{alfa} (comprimento de onda = 6562.8 Å) e CII (comprimento de onda = 6578 Å) (fig. VI), foi determinada a temperatura de borda do plasma. A Tabela abaixo mostra a variação da temperatura iônica com a pressão para as linhas H_{alfa} e CII.

Essas temperaturas se referem à parte fria do plasma, onde ocorrem as transições da linha observada. Para a região mais interna, a temperatura obtida através da linha do SiIV foi de ~180 eV.

Através dos dados obtidos pela IMACON, foram observados modos rotacionais n>2, especialmente n=4, sem auxílio de multipolo ou divertor magnético. Esse efeito também foi encontrado por Harned [5] para alguns modos com n=3, 4 e 5 em simulações com o código híbrido 2-D.

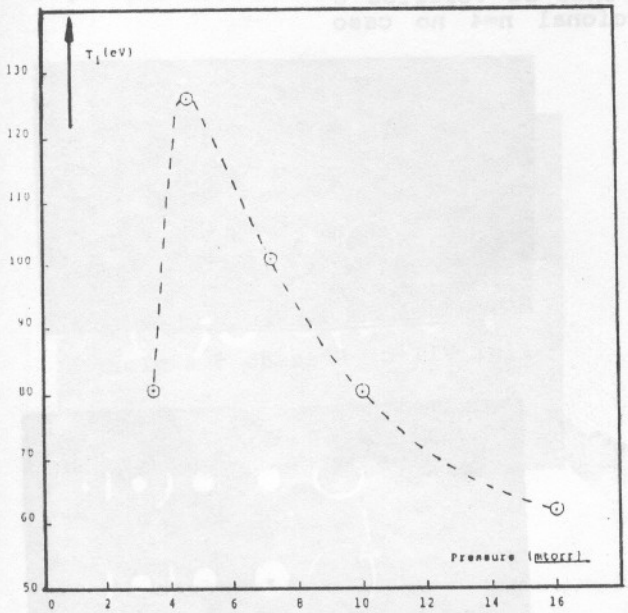


Fig. V: Variação da temperatura iônica com a pressão para o plasma de hélio.

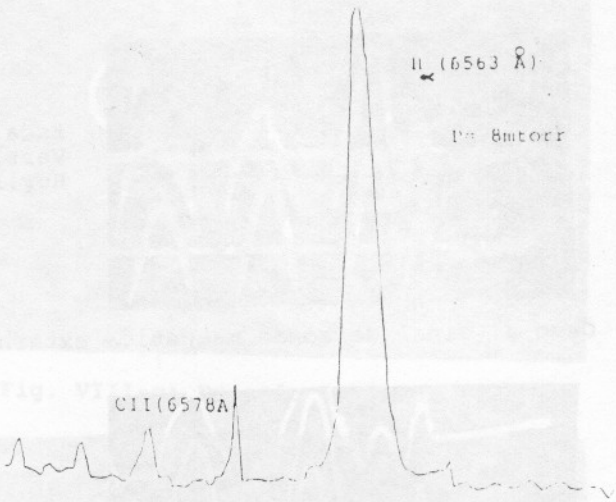


Fig. VI: Perfis das linhas H(6563 Å) e CII(6578 Å) obtidas através do OMA.

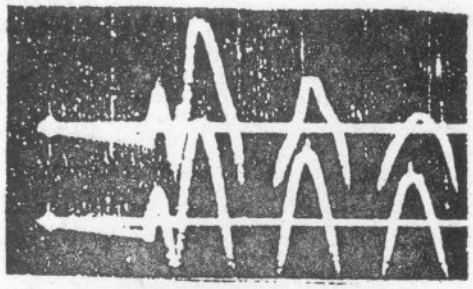
TABELA

Pressão (m Torr)	Ti (eV) - H_α	Ti(eV)-CII
5,5	23,7	36,9
6,0	31,5	28,8
6,8	34,2	23,8
8,0	21,6	22,1
10,0	25,5	23,8

Verificou-se em nosso experimento que a sequência temporal dos bancos é um parâmetro decisivo para a ocorrência desses modos, como pode ser observado pelas fig. VII-a e VII-b para a pressão de 10 mTorr e as fig. VII-c e VII-d para a pressão de 5,6 mTorr.

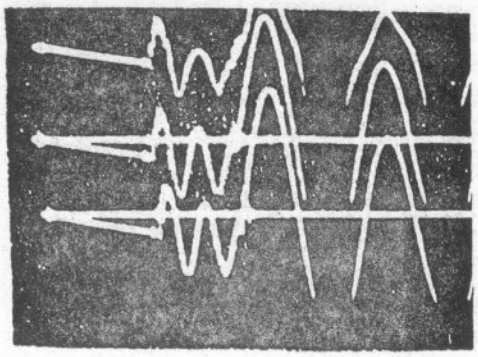
A pressão do gás também exerce efeitos observáveis para pequenas variações desta, como são mostrados nas fig. VIII-a, b, c, d para diferentes pressões.

O mecanismo de formação desses modos rotacionais, especialmente o da fig. VII-b, onde a configuração quadrada se mantém estável por aproximadamente 1 s, ainda não é bem conhecido e está sendo alvo de estudos no momento.



Escalas:
Vert.: 5V/div.
Hor.: 10 us/div.

Caso a: Sinal de sonda magnética externa.



Caso b: Sinal da sonda magnética externa.

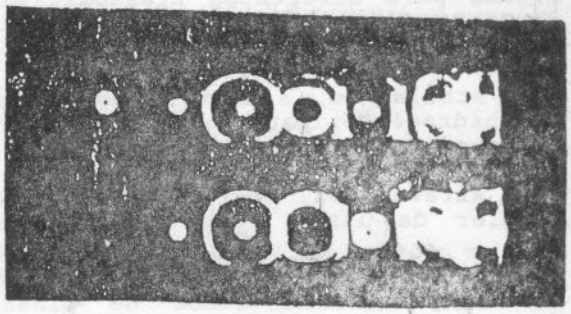


Fig. VII-a: Pressão 10 mTorr

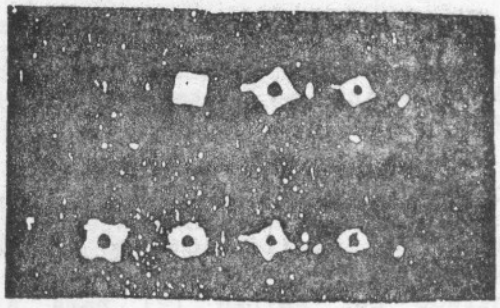
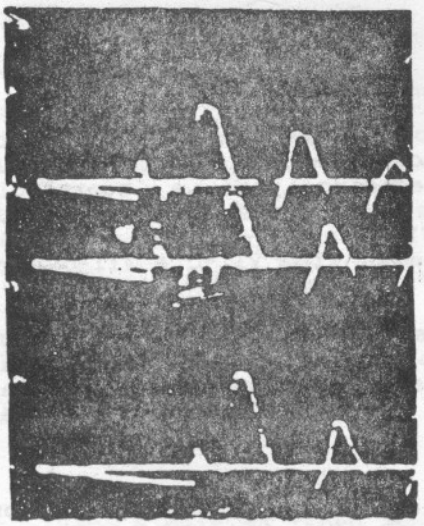


Fig. VII-b: Pressão 10 mTorr

Fig. VII-a,b: Fotos obtidas pela IMACON, para as descargas monitoradas pela sonda externa de uma volta, onde se verifica a formação de modo rotacional n=4 no caso b.



Caso c

Caso d

Sinais da sonda magnética externa

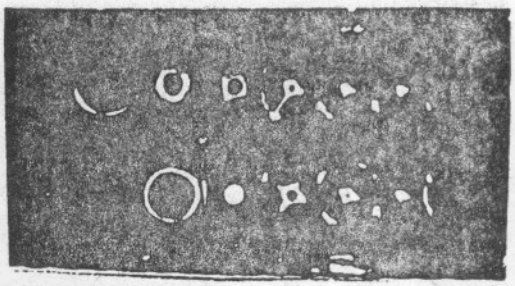


Fig. VII-c: Pressão 5.6 mTorr

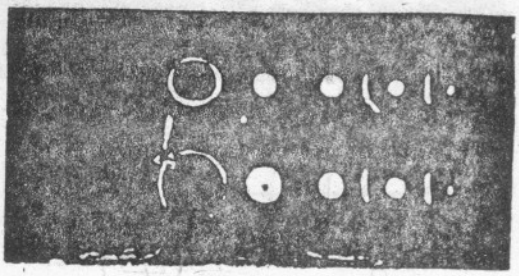
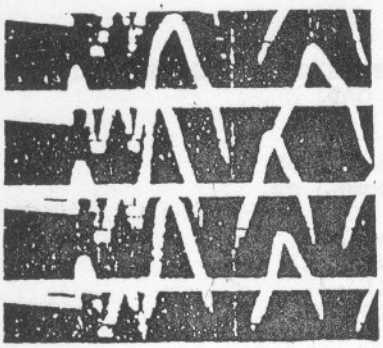


Fig. VII-d: Pressão 5.6 mTorr

Fig. VII-c,d: Fotos obtidas pela IMACON, para duas temporizações de descargas distintas, para pressão de 5.6 mTorr.



Escalas:
Vert.: 5V/div.
Hor.: 10 us/div.

Sinal da sonda magnética

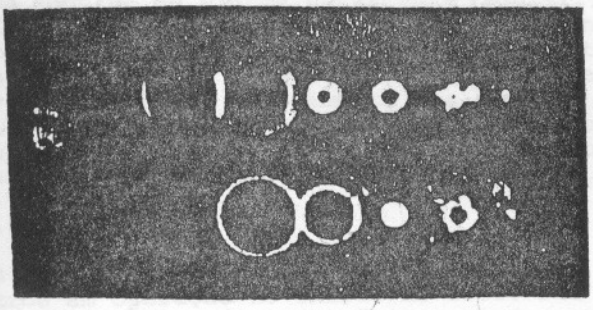


Fig. VIII-a:Pressão 3.6 mTorr

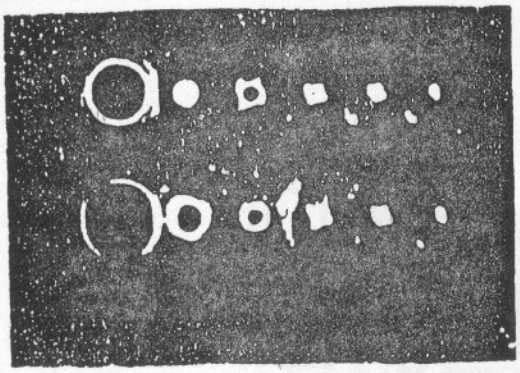


Fig. VIII-b: Pressão 4.3 mTorr

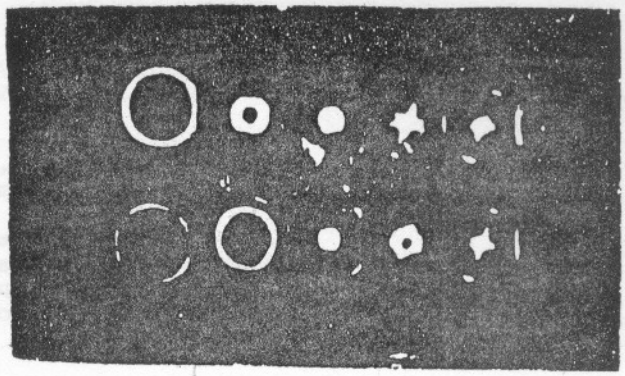


Fig. VIII-c: Pressão 6.6 mTorr

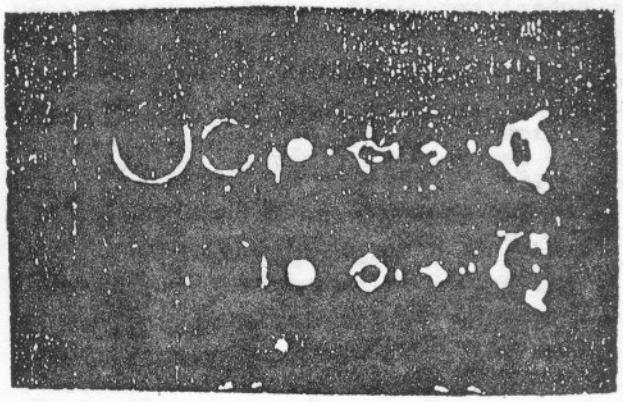


Fig. VIII-d: Pressão 8 mTorr

Fig. VIII-a,b ,c, d: Fotos obtidas pela IMACON (modo framing: 2.10^6 quadros/s) para diferentes pressões.

REFERÊNCIAS

[1] M. Machida et al, "Recent results in TC-I UNICAMP", The Sixth Japan-Brazil Workshop on Science and Technology, Proceedings, vol. III, pg 348, (1988).

[2] E. A. Aramaki et al, "Nuclear Instr. and Methods in Physics Res., A 280, pg 597, (1989).

[3] R. Y. Honda et al, "O efeito da pressão na formação da CCR no TC-I", CBRAVIC, (1989).

[4] Y. Aso, "Theoretical model of the halo plasma observed in a small aspect ratio FRC plasma", Nuc. Fusion, Vol. 28, nº 5, (1988).

[5] D. S. Harned, "Rotational instabilities in the field reversed configuration: Results of hybrid simulations", Phys. Fluids 26 (5), pg 1320, (1983).