

**Relatório de Atividades de 2002 da Linha de Pesquisa e Desenvolvimento em
Fusão Termonuclear Controlada – FUSÃO
Laboratório Associado de Plasma – LAP**

Descrição

O objetivo geral desta linha é pesquisar plasmas em confinamento magnético, através do desenvolvimento de tokamaks esféricos e sistemas de diagnóstico e aquecimento auxiliar de plasma, visando à geração futura de energia por fusão. Os objetivos específicos são:

- Investigar sistemas toroidais compactos de confinamento magnético de plasma, acompanhando os avanços internacionais na área.
- Desenvolver o tokamak esférico ETE (Experimento Tokamak Esférico), explorando as propriedades desta configuração e seu potencial como um reator de fusão de geometria compacta, alta eficiência e operação contínua.
- Desenvolver sistemas de aquecimento de plasma e geração de corrente, notadamente por injeção de ondas de radiofrequência, e sistemas de diagnóstico de plasma de alta temperatura adequados aos tokamaks esféricos.

Os parâmetros principais de projeto do ETE, na primeira fase de operação, são: raio maior $R_0 = 0,3$ m, raio menor $a = 0,2$ m, alongação $k = 1,6$, campo magnético toroidal $B_0 = 0,4$ T, e corrente de plasma $I_p = 0,2$ MA. A principal característica da máquina, como todos os toróides esféricos, é a pequena razão de aspecto $A = R_0/a = 1,5$. O programa experimental do ETE está direcionado ao estudo das vantagens da configuração de pequena razão de aspecto visando à aplicação em reatores de fusão. Uma vista geral do tokamak ETE em meados de 2002 é mostrada na Fig.1.

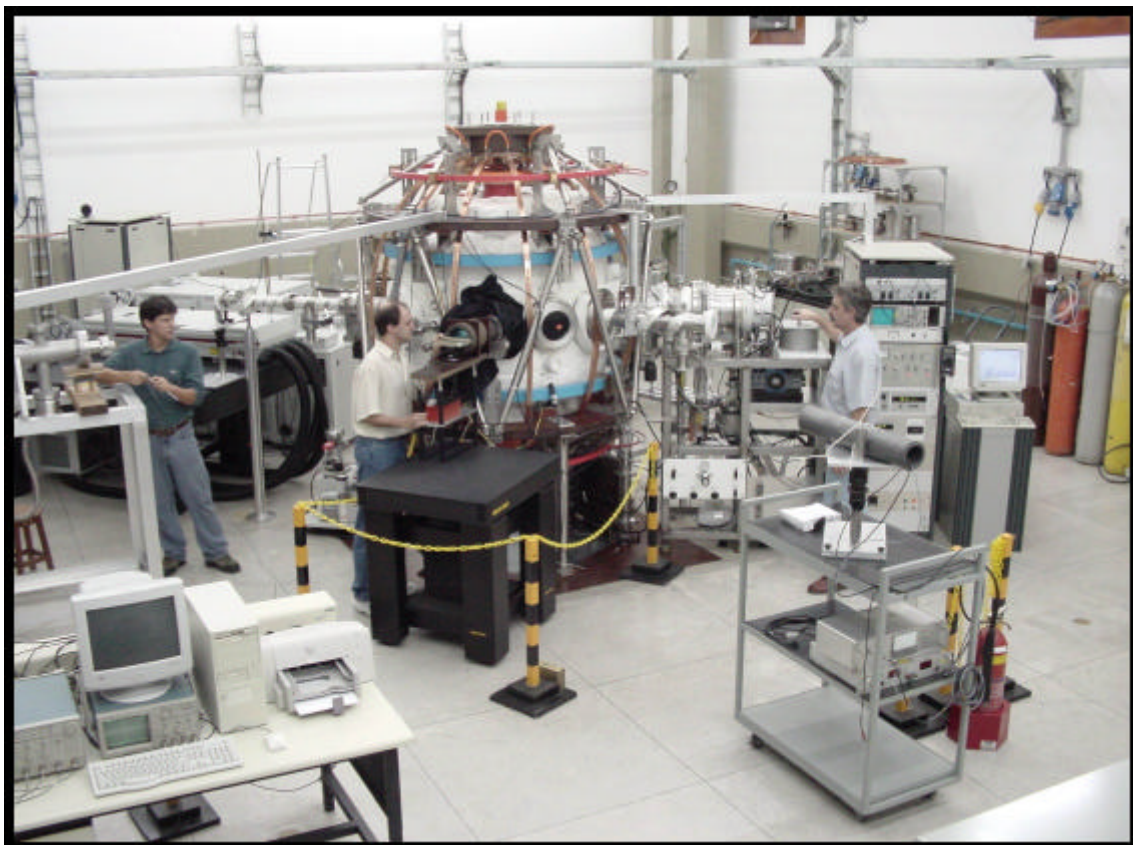


Figura 1. Vista geral do tokamak esférico ETE em agosto de 2002.

Pessoal Envolvido

A linha de pesquisa em fusão termonuclear controlada contou em 2002 com a participação, em muitos casos parcial, de oito pesquisadores com envolvimento direto no projeto tokamak esférico ETE, mais três pesquisadores no grupo de fontes de microondas de alta potência. O pessoal da equipe de apoio técnico teve, em sua maior parte, dedicação em tempo parcial ao projeto.

- **Equipe Permanente e Atribuições**

Dr. Gerson Otto Ludwig (Responsável pela linha de pesquisa, Teoria e Engenharia)

Dr. Edson Del Bosco (Operação da máquina, Diagnósticos, Chefe do LAP – Tempo parcial)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro (Fontes de microondas – Tempo parcial)

Dr. Luiz Ângelo Berni (Diagnósticos)

Dra. Maria Célia Ramos de Andrade (Teoria)

Dr. Mário Ueda (Diagnósticos – Tempo parcial)

Dr. Pedro José de Castro (Medidas eletromagnéticas – Tempo parcial)

Ms. Carlos Shinya Shibata (Tratamento de dados – Tempo parcial)

Ms. Heitor Patire Júnior (Desenvolvimento do monotron)

Ms. Júlio Guimarães Ferreira (Fontes de potência, Diagnósticos)

Ms. Rogério de Moraes Oliveira (Controle e aquisição de dados, Diagnósticos)

Alberto Barbosa da Silva (Técnico Mecânico – Tempo parcial)

Alice Hitomi Nakahara Ueda (Técnica Química)

Francisco Eugênio Donatelli de Figueiredo Costa (Técnico Eletrônico – Tempo parcial)

David Carlos de Jesus (Auxiliar Técnico)

Márcia Veiga Vicente de Moraes (Secretária do LAP – Tempo parcial)

- **Equipe Temporária**

Ms. Luis Filipe de Faria Pereira Wiltgem Barbosa (Sistema de controle por redes neurais – Bolsista FAPESP/Doutorado ITA de 01/10/1998 a 30/09/2002)

Waldeir Amaral Vilela (Engenheiro Eletrônico – Bolsista DTI MCT/PCI de 01/01/1998 a 31/07/2002)

Alberto Barbosa da Silva (Técnico Mecânico – Tempo parcial – Bolsista DTI MCT/PCI de 01/05/1997 a 31/07/2002)

Artur Faria de Oliveira (Técnico Mecânico – Tempo parcial – Bolsista DTI MCT/PCI de 01/04/2000 a 31/03/2002, e a partir de 01/08/2002)

Celso Luiz Terzetti (Técnico Mecânico – Tempo parcial – Bolsista DTI a partir de 01/09/2002)

Néliton Gonçalves de Oliveira (Técnico de Informática – Bolsista DTI MCT/PCI a partir de 01/09/2002)

Fabiana Carvalho de Araújo (Técnica de Computação – Estagiária INPE, Nível Superior, de 01/03/2002 a 30/11/2002)

Resultados

O desenvolvimento experimental em anos anteriores pode ser resumido da seguinte forma. Alguns componentes do ETE foram fabricados no Laboratório Associado de Plasma do INPE a partir de meados de 1995, com recursos financeiros e humanos extremamente

limitados. A fabricação efetiva de componentes foi iniciada em 1997 e a montagem do ETE começou em junho de 1998, após construção do novo laboratório. A montagem foi realizada em conformidade com as especificações detalhadas e restritivas de projeto, e concluída no final de 1999, quando teve início a fase de testes da máquina. O primeiro plasma de tokamak no ETE foi obtido em 28 de novembro de 2000 com hidrogênio à pressão de $2,4 \times 10^4$ mbar. A corrente de plasma atingiu 12 kA e a duração do pulso 1,2 ms. A campanha experimental de 2001 teve como objetivo melhorar as condições de vácuo e de formação do plasma, enquanto procedia a montagem dos bancos de capacitores. No final de 2001, com 15% do total de capacitores instalado nos bancos e apenas 5% da capacidade de armazenamento de energia utilizada, a corrente de plasma no ETE atingiu valores que variaram entre 30 e 40 kA com durações de pulso entre 4 e 3 ms, respectivamente. A densidade máxima de plasma atingiu $0,2 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ e a temperatura eletrônica 160 eV.

Durante o ano de 2002 foi possível adquirir os componentes que faltavam para colocar os sistemas auxiliares do ETE em operação plena. Estes sistemas compreendem: limpeza da câmara de vácuo por fitas de aquecimento e isolamento térmica até 200°C , injeção de gases através de uma tubulação em aço inoxidável e de válvulas piezoelétricas com controle de fluxo e duração de pulso, pré-ionização utilizando um chuveiro de elétrons produzidos por emissão termoiônica, remoção de impurezas da parede interna da câmara de vácuo por descarga luminescente, análise de gases residuais, e operação por computador dos circuitos eletropneumáticos de segurança e de disparo com isolamento galvânica. Até o final de 2002 cerca de 30% dos capacitores haviam sido instalados e o fator de utilização de energia atingiu 10%. Nestas condições, a corrente de plasma se situou tipicamente na faixa entre 40 e 60 kA com duração de pulso entre 8 e 5 ms, respectivamente. É preciso notar que o aumento na duração de pulso, que chegou até 12 ms em várias descargas, deve-se em parte às melhorias nas condições de vácuo após limpeza por descarga luminescente. A Fig. 2 mostra a evolução da corrente de plasma no ETE em várias fases ao longo de sua operação. A energia dos bancos de capacitores está sendo continuamente aumentada, pela adição de módulos de capacitores e aumento da tensão de carregamento, visando atingir os parâmetros listados na descrição acima para a primeira fase de operação da máquina.

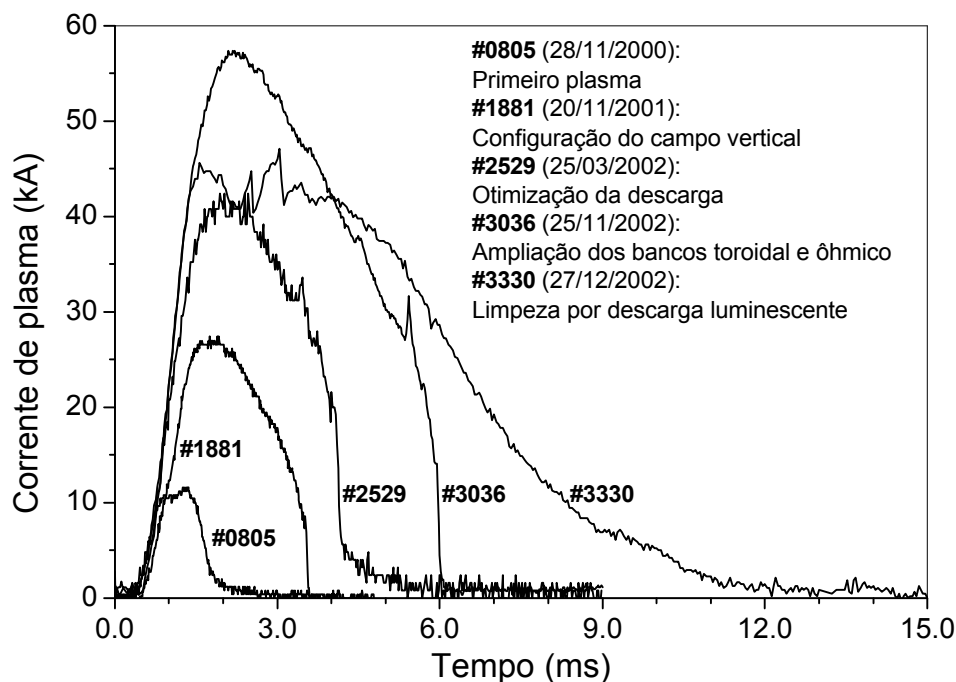


Figura 2. Evolução da corrente de plasma no tokamak esférico ETE.

Em alguns disparos, durante o ano de 2002, a densidade de plasma aproximou-se de $0,4 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$, mas o valor típico de operação manteve-se em $0,2 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ ou um pouco abaixo, como mostra a Fig. 3. A temperatura eletrônica permaneceu no nível de 160 eV, porém apresenta uma melhor distribuição, mais espalhada e com pico mais próximo do raio maior de projeto, como mostra a Fig. 4. Estas medições foram realizadas com o sistema de espalhamento Thomson, que foi calibrado e colocado em condições de operação em 2002.

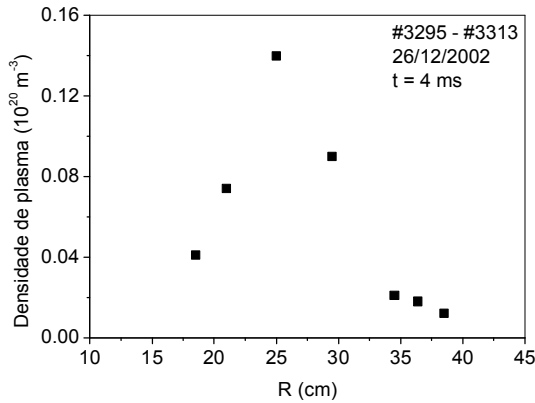


Figura 3. Distribuição radial da densidade de plasma 4 ms após o início da descarga.

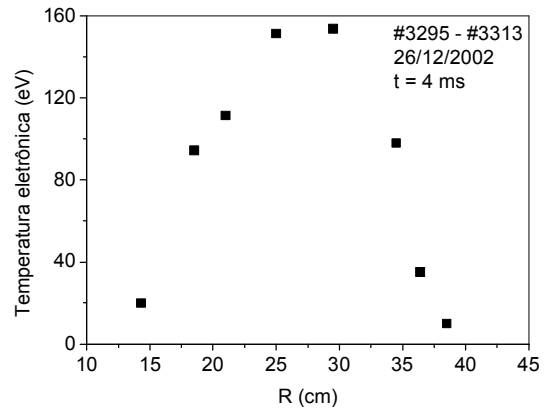


Figura 4. Distribuição radial da temperatura eletrônica 4 ms após o início da descarga.

Os campos magnéticos de erro, que têm um papel importante durante as fases de ruptura do gás e formação do plasma, foram medidos em várias posições no interior da câmara de vácuo e em diversos instantes durante o acionamento das bobinas de campos toroidal e poloidal. Foi então desenvolvido um programa de cálculo dos campos de erro, incluindo o efeito das correntes parasitas induzidas na câmara de vácuo, cujos resultados se comparam satisfatoriamente com as medidas experimentais. As Fig. 5 e 6 mostram o resultado dos cálculos da penetração do campo magnético vertical na câmara de vácuo do ETE, decorridos 1,16 (tempo característico de penetração global) e 5,81 ms, respectivamente, após o acionamento das bobinas de equilíbrio. Com base nestes cálculos está sendo projetado um par de bobinas poloidais adicionais para redução do campo espúrio no início da descarga. O sistema de aquecimento ôhmico continua a ser operado no modo de polaridade simples e baixa energia, enquanto são testados métodos para compensação do campo de erro introduzido pelas correntes parasitas na fase de geração do plasma.

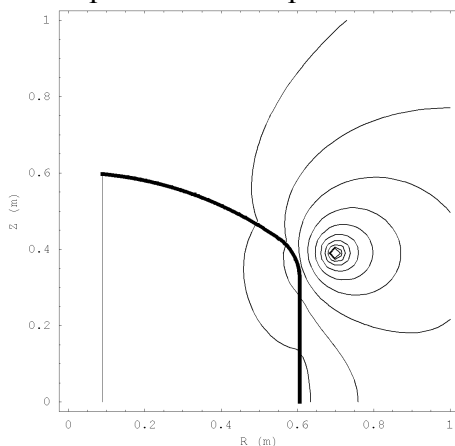


Figura 5. Penetração do campo magnético vertical na câmara de vácuo do ETE, decorridos 1,16 ms após o acionamento das bobinas de equilíbrio.

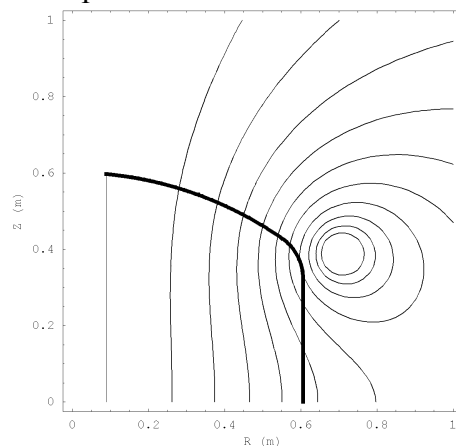


Figura 6. Penetração do campo magnético vertical na câmara de vácuo do ETE, decorridos 5,81 ms após o acionamento das bobinas de equilíbrio.

Um conjunto básico de diagnósticos, compreendendo sinais de controle da máquina, bobinas de Rogowski, bobinas de fluxo, sondas magnéticas, sonda eletrostática, detectores de radiação luminosa H_α e de raios-X duros, encontra-se em condição operacional. As Fig. 7 e 8 mostram exemplos dos sinais de controle e de diagnóstico básico para uma descarga típica do ETE.

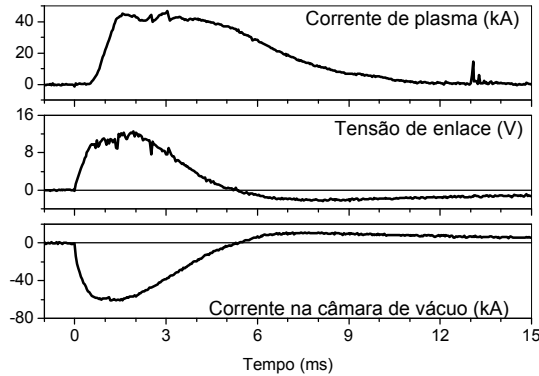


Figura 7. Corrente de plasma, tensão de enlace e corrente na câmara de vácuo do ETE. O sinal da corrente de plasma mostra a ocorrência de eventos de reconexão interna, típicos dos tokamaks de pequena razão de aspecto.

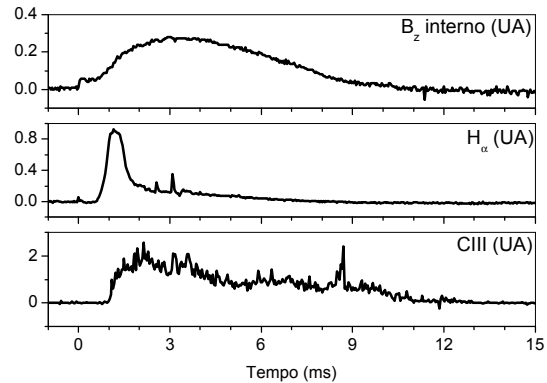


Figura 8. Componente B_z detectado no lado interno do toróide, luz H_α e radiação CIII no ETE. O sinal H_α também mostra a ocorrência dos eventos de reconexão interna, em simultaneidade com o sinal da corrente de plasma.

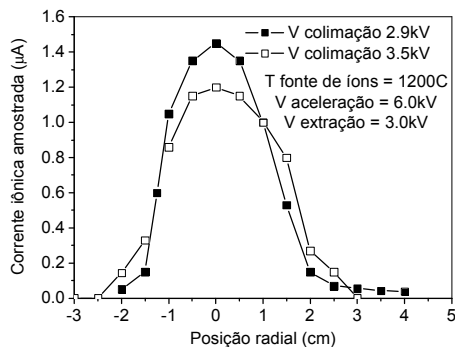


Figura 9. Perfil da corrente iônica no diagnóstico por feixe de lítio.

A sonda por feixe rápido de átomos de lítio foi montada, bem como foram completados os testes da fonte e do canhão de íons de lítio, e da câmara de neutralização por vapor de sódio. A Fig. 9 mostra o perfil da corrente de íons de lítio medido no interior da câmara de neutralização. Desta forma, a sonda por feixe de lítio encontra-se pronta para ser acoplada à câmara de vácuo do ETE para procedimentos de alinhamento do feixe e testes de injeção no plasma.

Uma nova versão do canhão eletrônico para o monotron de 6,7 GHz, 30 kW foi desenvolvida e está sendo caracterizada. Os testes de geração de radiação pelo monotron deverão ser iniciados assim que for concluída a reforma da fonte de aceleração do feixe de elétrons (10 kV, 20 A). O monotron constitui uma fonte simples de geração de microondas de alta potência que será utilizada em experimentos de pré-ionização do plasma no ETE.

Deu-se continuidade aos trabalhos teóricos nas áreas de cálculos consistentes do equilíbrio de plasma, de influência do campo elétrico induzido no aprisionamento de elétrons em plasmas de tokamak, de modelagem do circuito de potência e do transporte zero-dimensional de plasma, de simulação dos efeitos de corrente parasitas, de propagação e interação de feixes eletrônicos intensos com campos eletromagnéticos em cavidades ressonantes, e de aplicação de guias de onda corrugados em fontes de microondas de alta potência. Foram também realizados, pelo grupo de plasma do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, cálculos preliminares da injeção e deposição de energia por ondas

de Alfvén no ETE, visando aplicação no aquecimento do plasma. Estes cálculos incluíram o projeto conceitual de um sistema de antenas para injeção no ETE de radiação, por ondas de Alfvén na frequência de 2,02 MHz, com potência até 1 MW.

Metas para 2003

Muitas das atividades descritas acima deverão prosseguir durante o ano de 2003. Espera-se que a energia disponível nos bancos de capacitores seja incrementada até o ponto de se atingir o patamar de 150 – 200 kA da corrente de plasma e 0,3 – 0,4 T do campo magnético toroidal. A operação do ETE será progressivamente otimizada possibilitando um levantamento completo dos parâmetros de plasma e realização dos primeiros estudos do espaço de operação da máquina. Serão realizadas as primeiras medidas dos parâmetros de plasma na borda do ETE utilizando a sonda por feixe de lítio. O sistema de aquisição de dados será expandido e o número de sondas magnéticas aumentado de modo a possibilitar estudos iniciais de reconstrução magnética. Um conjunto adicional de limitadores de grafite será instalado na câmara de vácuo e procedimentos de limpeza da câmara terão prosseguimento. Serão testadas técnicas para aumentar o número de canais espaciais do sistema de espalhamento Thomson. Será também iniciado o projeto de um sistema de imageamento de raios-X moles. Espera-se completar os testes em bancada do protótipo do monotron, dispositivo gerador de microondas que será utilizado em experimentos de pré-ionização e aquecimento do plasma. Espera-se também obter financiamento para implementar no ETE um interferômetro Michelson de múltiplas passagens operando no infravermelho longínquo, cujo projeto detalhado foi recentemente concluído. Os trabalhos nas áreas de equilíbrio, de fenômenos neoclássicos no plasma e de modelagem zero-dimensional da partida do plasma deverão prosseguir durante o ano de 2003. Espera-se ainda iniciar trabalhos de simulação dos fenômenos da borda do plasma.

Comentários

O ETE continua sendo um dos poucos tokamaks esféricos em operação no mundo, sendo o LAP uma das instituições pioneiras no desenvolvimento deste conceito, a partir de 1986. Atualmente, só existem outras máquinas deste tipo em operação na Inglaterra, nos Estados Unidos, no Japão e na Rússia, em construção na China e em planejamento na Itália. O LAP mantém contato e colaboração com praticamente todos os grupos internacionais que atuam no desenvolvimento de toróides compactos. Esta colaboração entre grupos de pesquisa foi em grande parte promovida pela Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA, com a qual o LAP manteve um contrato de pesquisa até dezembro de 2002. Acordos específicos de colaboração também foram mantidos pelo LAP até meados de 2002 com o Centro de Ciências de Culham, Inglaterra, e com o Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal. Uma nova proposta de acordo internacional, sob a égide da Agência Internacional de Energia – IEA, e envolvendo, além do LAP, os Laboratórios de Culham, na Inglaterra, e de Princeton, nos Estados Unidos, foi enviada ao Ministério da Ciência e Tecnologia no início de 2002. Esta proposta, infelizmente, não recebeu uma resposta do MCT. Também não houve resposta à proposta do Programa Nacional de Energia por Fusão, elaborado pelo LAP em conjunto com o Laboratório de Plasma da Universidade de São Paulo e encaminhado ao MCT em meados de 2002. Desta forma, a atuação do projeto ETE, no plano nacional e internacional, encontra-se prejudicada e em compasso de espera. De maneira geral, as atividades do LAP na área de fusão continuam a ser direcionadas para colocar o ETE em condições de operação plena, pela expansão das fontes de potência e pela instalação dos sistemas de diagnóstico de plasma e de aquisição de dados, de modo a transformá-lo num experimento de padrão internacional.

Através do Programa Nacional de Energia por Fusão, já mencionado no parágrafo anterior, foi proposta uma série de ações visando colocar o País numa situação de maior participação no panorama internacional. Este Programa fundamenta-se na retomada imediata do plano de implantação do Laboratório Nacional de Plasma, com utilização da infra-estrutura já existente nos grupos atuantes, no encetamento das negociações para definição do papel brasileiro em acordos internacionais, e na formulação de um plano urgente de pesquisa de curto prazo, com duração em torno de cinco anos. O objetivo estratégico do Programa é buscar a capacitação para o desenvolvimento, e futuro domínio, da tecnologia de geração de energia por fusão termonuclear controlada

Dificuldades

As dificuldades na execução do projeto são as mesmas encontradas de forma crônica em qualquer atividade de pesquisa, notadamente experimental, no Brasil, e já apontadas no relatório de atividades de 2001: 1) indefinição na liberação dos recursos aprovados, geralmente acompanhada de cortes substanciais; 2) empecilhos burocráticos e administrativos que praticamente inviabilizam a pesquisa; 3) falta de continuidade, principalmente no que se refere à transferência de conhecimento para as futuras gerações e de tecnologia para o setor produtivo; 4) descaso institucional pela área de Ciência e Tecnologia. Os cortes nas bolsas PCI, que foram particularmente danosos em 2001, causando o desmantelamento da equipe de apoio técnico do laboratório do tokamak ETE, tiveram prosseguimento no ano de 2002. No caso de um projeto como o ETE constata-se mais uma vez, além dos problemas citados, a inexistência de uma política voltada para a questão energética futura do País.

O ETE oferece a possibilidade do Brasil acompanhar o desenvolvimento internacional na área de dispositivos compactos de confinamento magnético para fusão. Entretanto, para assegurar este papel, e impedir que o experimento se torne rapidamente obsoleto, é necessário haver um aporte substancial e contínuo de recursos. É também essencial que haja contratação de novos pesquisadores para atuar, principalmente, nas áreas de desenvolvimento de diagnósticos e interpretação de dados experimentais, controle e aquisição de dados, desenvolvimento e utilização de equipamentos para aquecimento de plasma, e desenvolvimento teórico e computacional. Além disso, a atualização e manutenção do experimento dependem da contratação de engenheiros eletro-eletrônicos, bem como técnicos experientes em mecânica, eletrônica e de laboratório, em caráter mais permanente que o regime de bolsas.

Publicações – Participação em Congressos

• Artigos Publicados em Periódicos

MONTEIRO, M.J.R.; MACHIDA, M.; DALTRINI, A.M.; **BERNI, L.A.** “Multichannel photomultiplier for multipass Thomson scattering diagnostics”. *Brazilian Journal of Physics* **32** (1) 54-56, 2002.

OLIVEIRA, R.M.; UEDA, M.; VILELA, W.A. “Fast neutral lithium beam for density and its fluctuation measurements at the boundary region of the ETE tokamak”. *Brazilian Journal of Physics* **32** (1) 76-80, 2002.

KOSTOV, K.G.; **BARROSO, J.J.** “Space-charge-limited current in cylindrical diodes with finite-length emitter”. *Physics of Plasmas* **9** (3) 1039-1042, 2002.

BARROSO, J.J.; KOSTOV, K.G. “Triple-beam monotron”. *IEEE Transactions on Plasma Science* **30** (3) 520-527, 2002.

OLIVEIRA, R.M.; BARBOSA, L.F.W.; FERREIRA, J.G.; SHIBATA, C.S. “Conceptual project and present status of the ETE control and data acquisition systems”. *Fusion Engineering and Design* **60**, 403-407, 2002.

GRISHANOV, N.I.; LUDWIG, G.O.; AZEVEDO, C.A.; NETO, P.J. “Wave dissipation by electron Landau damping in low aspect ratio tokamaks with elliptic magnetic surfaces”. *Physics of Plasmas* **9** (9) 4089-4092, 2002.

- **Artigos Aceitos para Publicação em Periódicos**

BARROSO, J.J.; CASTRO, P.J.; LEITE NETO, J.P. “Electrical conductivity measurement through the loaded Q factor of a resonant cavity”. Aceito para publicação em *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*.

BERNI, L.A.; UEDA, M.; DEL BOSCO, E.; FERREIRA, J.G.; OLIVEIRA, R.M.; VILELA, W.A. “Thomson scattering system for the diagnostics of the ETE spherical tokamak plasma”. Aceito para publicação em *Review of Scientific Instruments*.

NAKAMURA, K.; IGUCHI, H.; UEDA, M.; MORISAKI, T.; ISOBE, M.; IDA, K.; TAKAHASHI, C.; OKAMURA, S.; MATSUOKA, K. “Two-dimensional diagnostics of the edge and divertor regions of toroidal helical plasmas using a lithium beam probe”. Aceito para publicação em *Journal of Nuclear Materials*.

- **Artigos Submetidos para Publicação em Periódicos**

BARROSO, J.J.; LEITE NETO, J.P.; KOSTOV, K.G. “Cylindrical waveguide with axially rippled wall”. Submetido para *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*.

- **Publicações em Congressos Internacionais**

LUDWIG, G.O. “Calculation of eddy currents in the ETE spherical torus”. *11th International Congress on Plasma Physics*, Sydney, Australia, July 15-19, 2002. A ser publicado em *American Institute of Physics, Proceedings – ICPP2002* (paper 558).

BERNI, L.A.; DEL BOSCO, E.; FERREIRA, J.G.; LUDWIG, G.O.; OLIVEIRA, R.M.; SHIBATA, C.S.; BARBOSA, L.F.P.W.; VILELA, W.A. “Overview and initial results of the ETE spherical tokamak”. *19th IAEA Fusion Energy Conference*, Lyon, France, October 14-19, 2002. A ser publicado em *Proceedings – FEC2002* (paper EX/P4-20).

LUDWIG, G.O.; DEL BOSCO, E.; FERREIRA, J.G.; BERNI, L.A.; OLIVEIRA, R.M.; ANDRADE, M.C.R.; SHIBATA, C.S.; BARROSO, J.J.; CASTRO, P.J.; PATIRE JR., H. “Progress on the ETE spherical tokamak”. *8th International Spherical Torus Workshop*, Princeton, NJ, USA, November 18-21, 2002. A ser publicado em *Proceedings – STW2002*.

- **Publicações em Congressos Nacionais**

BARROSO, J.J.; CASTRO, P.J.; LEITE NETO, J.P. “Medida da condutividade elétrica de materiais metálicos através do fator Q de uma cavidade ressonante”. *X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica*, Recife, PE, 12-16 de agosto, 2002, *Proceedings SBMO*, p. 66-68.

BARROSO, J.J.; KOSTOV, K.G. “The monotron as a high-power microwave tube”. *X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica*, Recife, PE, 12-16 de agosto, 2002, *Proceedings SBMO*, p. 241-244.

BARROSO, J.J.; LEITE NETO, J.P.; KOSTOV, K.G. “Filtering properties of the cylindrical waveguide with axially rippled wall”. *X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica*, Recife, PE, 12-16 de agosto, 2002, Proceedings SBMO, p. 245-249.

CASTRO, P.J.; BARROSO, J.J.; LEITE, J.P. “Determinação do fator Q ôhmico de ressoadores com corrugação transversa de perfil senoidal”. *X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica*, Recife, PE, 12-16 de agosto, 2002, Proceedings SBMO, p. 561-565.

- **Resumos em Congressos Internacionais**

MONTEIRO, M.J.R.; BERNI, L.A.; DALTRINI, A.M.; MACHIDA, M. “Multichannel photomultiplier for multipass scattering diagnostics”. *11th International Congress on Plasma Physics – ICPP2002*, Sydney, Australia, July 15-19, 2002 (paper 260).

DEL BOSCO, E.; BERNI, L.A.; FERREIRA, J.G.; LUDWIG, G.O.; OLIVEIRA, R.M. “Plasma formation in the ETE spherical torus”. *11th International Congress on Plasma Physics – ICPP2002*, Sydney, Australia, July 15-19, 2002 (paper 266).

NAKAMURA, K.; IGUCHI, H.; UEDA, M.; IDA, K.; OKAMURA, S.; MATSUOKA, K. “Two-dimensional diagnostics of the edge divertor region of toroidal helical plasmas using a lithium beam probe”. *15th International Conference on Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Devices*, Gifu-city, Japan, May 27-31, 2002, (poster 2-38).

- **Resumos em Congressos Nacionais**

BERNI, L. A.; DEL BOSCO, E. “Calibração por espalhamento Raman com gás nitrogênio do diagnóstico de espalhamento Thomson no tokamak ETE”. *XXIII CBRASIC*, Florianópolis, SC, 10-12 de julho, 2002.

BARROSO, J.J.; CASTRO, P.J.; LEITE NETO, J.P. “Um método para medir a condutividade elétrica de metais em frequências de microondas”. *XXIII CBRASIC*, Florianópolis, SC, 10-12 de julho, 2002.

PATIRE JR., H.; BARROSO, J.J. “Sistema de aquecimento para um catodo termiônico de 10kV, 20A”. *XXIII CBRASIC*, Florianópolis, SC, 10-12 de julho, 2002.

- **Relatórios Técnicos**

BARBOSA, L.F.W.; LUDWIG, G.O. “Redes neurais na modelagem e controle de tokamaks – aplicação ao ETE (Experimento Tokamak Esférico) – Quarto Relatório”. Publicação INPE-8756-PRP/228, 2002.

LUDWIG, G.O.; ALVES, M.V. “Questões da prova escrita para concurso de pesquisador”. Publicação INPE-8926-PUD/59, 2002.

LUDWIG, G.O. “Calculation of eddy currents in the ETE spherical torus”. Publicação INPE-8936-PRE/4639, 2002.

UEDA, M. “Relatório da visita científica ao National Institute for Fusion Sciences (NIFS)”. Publicação INPE-8937-PRP/230, 2002.

ANDRADE, M.C.R.; FERREIRA, J.G.; LUDWIG, G.O. “Self-consistent calculation of the electron temperature profile required to produce a given plasma current density profile in tokamaks – Part I”. Publicação INPE-8943-PRP/728, 2002.

LUDWIG, G.O.; DEL BOSCO, E.; GALVÃO, R.M.O.; VANNUCCI, A. “Programa Nacional de Energia por Fusão”. Publicação INPE-8979-PRP/232, 2002.

LUDWIG, G.O. “Relatório científico à FAPESP – ICPP2002”. Publicação INPE-9365-PRP/235, 2002.

LUDWIG, G.O. “Relatório de Atividades de 2001 da Linha de Pesquisa e Desenvolvimento em Fusão Termonuclear Controlada – Fusão, do Laboratório Associado de Plasma – LAP”. Publicação INPE-9394-NTC/350, 2002.

LUDWIG, G.O.; DEL BOSCO, E.; BERNI, L.A.; FERREIRA, J.G.; OLIVEIRA, R.M.; ANDRADE, M.C.R.; SHIBATA, C.S.; BARROSO, J.J.; CASTRO, P.J.; PATIRE JR., H. “The ETE spherical tokamak project – IAEA Report”. *Coordinated Research Project of the International Atomic Energy Agency on Comparison of Compact Toroid Configurations*, Vienna, Austria, 28 October to 1 November 2002. Publicação INPE-9395-PRE/5052.

- **Outros Trabalhos – Notas Técnicas**

BERNI, L.A. “Calibração por espalhamento Raman do diagnóstico de espalhamento Thomson no tokamak ETE”. ETE/FUSÃO-NT-001/02.

BERNI, L.A. “Calibração espectral da ótica de coleção e detecção do diagnóstico de espalhamento Thomson no tokamak ETE”. ETE/FUSÃO-NT-002/02.

UEDA, M. “Relatório de viagem ao National Institute for Fusion Science (NIFS) – Toki, Japão”. ETE/FUSÃO-NT-013/02.

SHIBATA, C.S.; OLIVEIRA, N.G.; TEIXEIRA, M.S.; ARAÚJO, F.C. “Programa-teste para a implantação de uma interface WEB para a execução remota de um código-fonte em C/C⁺⁺”. ETE/FUSÃO-NT-014/02.

BARROSO, J.J. “Desenvolvimento de monotrons de alta potência”. PRAD/FUSÃO-NT-017/02.

ANDRADE, M.C.R.; TODD, T.N.; FERREIRA, J.G.; LUDWIG, G.O. “Trapped particle fraction in the presence of the inductive toroidal electric field in tokamaks”. ETE/FUSÃO-NT-019/02.

ANDRADE, M.C.R.; FERREIRA, J.G.; LUDWIG, G.O. “Trapped regions for different launch points in the presence of the inductive toroidal electric field in tokamaks”. ETE/FUSÃO-NT-020/02.

ANDRADE, M.C.R.; FERREIRA, J.G. “Approximated form for launch point averaging of trapped particle fraction in the presence of a toroidal electric field”. ETE/FUSÃO-NT-021/02.