



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO-GPT

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS-GPT

MODERNIZAÇÃO, REPOTENCIAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA “DUAL FUEL” NA USINA TERMOELÉTRICA DE CAMAÇARI

**Douglas Balduino Guedes da Nóbrega (*)
COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO**

**Alcides Codeceira Neto
COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO**

RESUMO

Anteriormente, a Usina Termoelétrica de Camaçari era equipada com cinco grupos turbogeradores Turbodyne operando em ciclo simples, com potência nominal de 58MW cada, o que fornecia uma potência instalada total de 290MW. Na época, a UTE Camaçari operava apenas com óleo combustível.

Os trabalhos realizados na usina térmica envolveram o restabelecimento e aumento da disponibilidade de geração, modernização dos sistemas de controle, supervisão, proteção e comunicação, e repotenciação dos sistemas elétricos e seus auxiliares. A modernização do parque de armazenamento de óleo diesel compreendeu a recuperação de sistemas de drenagens e bacias de contenção de óleo, substituição de válvulas e chaves de nível, recuperação de edificações, montagem de novas centrais de alarmes contra incêndio e instalação de medidores de vazão para acompanhamento do óleo diesel recebido.

Entre as atividades executadas, estão ainda a conversão do sistema de óleo combustível para gás natural e na sequência, também foi executado um projeto para que a usina também pudesse operar com óleo diesel, consolidando desta forma o sistema “dual fuel”.

Com a repotenciação, a usina térmica passou a oferecer uma potência total de 350MW, sendo 70MW por máquina, aumentando desta forma a sua capacidade de geração em 20%. Atualmente a usina pode ser operada com gás natural ou com óleo diesel.

O objetivo deste trabalho é apresentar os aspectos técnicos que envolveram as atividades acima referenciadas na Usina Termoelétrica de Camaçari (UTE Camaçari), situada no Distrito Industrial de mesmo nome, no município de Dias D'Ávila, estado da Bahia, no período compreendido entre 2002 e 2005.

PALAVRAS-CHAVE

Repotenciação, Modernização, Usina Termoelétrica, Turbomáquinas.

1.0 - INTRODUÇÃO

A UTE Camaçari foi concebida com o objetivo de suprir possíveis insuficiências de energia previstas para ocorrerem na segunda metade da década de 70, atendendo basicamente à demanda de ponta do sistema.

Os dados básicos originais das unidades geradoras são indicados na tabela a seguir:

(*) R. Delmiro Gouveia, n° 333 – Sala 235 - Bloco C – CEP 50761-901 Recife, PE, – Brasil
Tel: (+55 81) 3229-2218 – Fax: (+55 81) 3229-2927 – Email: douglasn@chesf.gov.br

Tabela 01 – Dados da UTE Camaçari antes da modernização e repotenciação

ITEM	DESCRIÇÃO
Tipo	Heavy Duty (Industrial)
Modelo	11D4 / 11D4A
Configuração	Ciclo Simples (aberto)
Potência Nominal	58.000 KW (cada)
Rotação	3.600 RPM
Sistema de Controle	Analógico
Estágios do Compressor	05
Estágios da Turbina	17
Eficiência Térmica	24%
Vazão de Combustível (Óleo)	20,52 t/h
Classe de Isolamento do Gerador	B

A primeira unidade entrou em operação no ano de 1979 e a quinta e última unidade foi comissionada em 1981.

A UTE Camaçari possui também um parque de tancagem, responsável pela armazenagem do óleo combustível utilizado pelas máquinas, perfazendo uma capacidade total de armazenagem de aproximadamente nove milhões de litros de óleo.

No entanto, com o passar dos anos, as condições da usina foram se degradando, principalmente devido às dificuldades na obtenção de peças de reposição, e nem mesmo o empenho do pessoal da manutenção pode evitar o crescente aumento das dificuldades de operação e manutenção dos equipamentos e a redução da eficiência e confiabilidade da usina. Estes aspectos determinaram uma crescente restrição da energia ofertada pela UTE Camaçari ao setor elétrico. Não obstante, neste período, apesar das dificuldades e ainda que de maneira parcial, a usina se manteve operando ou disponível.

Em 2001, pelos motivos já expostos anteriormente, UTE Camaçari, se encontrava com a potência instalada reduzida e a situação geral da usina era a seguinte:

- Das cinco unidades, apenas três estavam disponíveis para geração;
- Uma das unidades apresentava curto-circuito no gerador e alguns equipamentos periféricos danificados;
- Alto grau de corrosão nas chaminés de exaustão;
- Sistemas de partida precários e com histórico de problemas;
- Sistemas de controle obsoletos e pouco confiáveis;
- Confiabilidade, disponibilidade e rendimento reduzidos.

No entanto, a evolução tecnológica tanto das turbo máquinas, quanto dos sistemas auxiliares e de controle, além de outros, foi demonstrando cada vez mais que a UTE Camaçari necessitava de uma reforma em suas instalações, a fim de manter ou ampliar sua capacidade instalada e eficiência, mantendo os custos de operação em níveis competitivos.

Neste mesmo ano, 2001, instalou-se no país uma crise de oferta de energia, o chamado apagão, que ocasionou uma nova postura dos governantes no sentido de se buscar a redução e racionalização do consumo de energia elétrica no Brasil e por outro lado, obter um aumento na oferta de energia elétrica. Não se pode deixar de citar também, a evolução da postura dos consumidores de energia elétrica no Brasil.

2.0 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODERNIZAÇÃO E A REPOTENCIAÇÃO DA USINA

Os serviços de modernização e repotenciação da UTE Camaçari foram enquadrados em alguns dispositivos do governo federal, sendo os principais listados a seguir:

- Programa Prioritário de Termoeletricidade, instituído pelo Decreto nº. 3.371, de 24/02/2000, da Presidência da República, regulamentado pela Portaria nº. 43 de 25/02/2000 do Ministério das Minas e Energia;
- Aviso 184/MME de 12/09/2000 dirigido ao Conselho Nacional de Desestatização, autorizando a Chesf a promover a repotenciação da UTE Camaçari.

No ano de 2001, foi assinado um contrato entre a Chesf e o Consórcio APC (Alston Power Camaçari), composto pela Alstom Brasil e Alstom Suíça, e foram então iniciados os serviços de modernização, repotenciação e adaptação para uso de novo combustível na UTE Camaçari.

Os serviços foram executados em frentes de trabalho simultâneas, na usina, fábricas da Alstom no Brasil e na Suíça e em empresas subcontratadas pelo consórcio no Brasil e no exterior.

O escopo básico dos trabalhos e os resultados esperados eram os seguintes:

- Aumento da potência da usina;
- Restabelecimento e aumento da disponibilidade de geração;
- Aumento da eficiência da usina;
- Operação com sistema dual fuel (gás natural e óleo diesel);
- Modernização dos sistemas de controle;
- Modernização dos sistemas de supervisão, proteção e comunicação;
- Revisão e repotenciação dos sistemas elétricos e seus auxiliares;
- Reativação e modernização do Parque de Tancagem (armazenagem de óleo diesel).

3.0 – EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS

Na seqüência, são descritos os principais serviços executados no projeto de modernização, repotenciação e implantação de sistema “dual fuel” na Usina Termoeletrica de Camaçari.

3.1 - TURBINAS

Desmontagem das pás e rotor com posterior montagem de novos conjuntos de pás (fixas e móveis), com vistas à redução de perdas na expansão dos gases provenientes da queima.

Também foram substituídos os elementos isolantes termoacústicos das carcaças.

3.2 - COMPRESSORES

Alguns estágios tiveram as pás substituídas. Os demais, a fim de melhorar a confiabilidade, tiveram suas pás submetidas há alguns ensaios e na seqüência, receberam um revestimento para combater a formação de depósitos e incrustações.

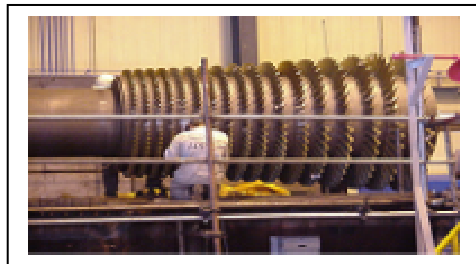


Figura 01 – Empalhetamento do rotor do compressor

3.3 - CASA DOS FILTROS (FILTER HOUSE)

Foram reprojctadas, substituídas por completo, recebendo novos conjuntos de filtros.

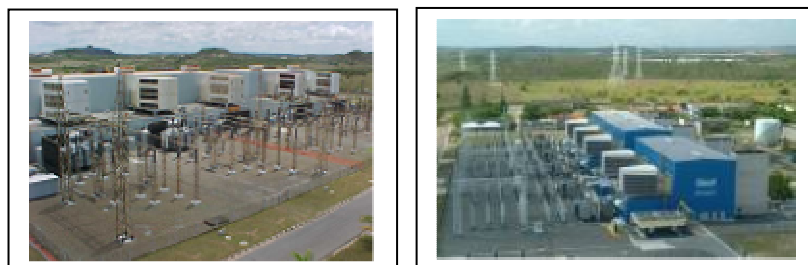


Figura 02 – Casa dos Filtros (antiga e atual)

3.4 - CONSTRUÇÃO DA ESTAÇÃO DE RECEBIMENTO DE GÁS NATURAL

Em função dos serviços de adaptação da usina para utilização do gás natural, foi construída na UTE Camaçari, pela Bahiagás, uma Estação de Medição e Regulagem de Pressão (EMRP) destinada a regular a pressão de alimentação, medir e registrar os volumes, pressões e temperaturas do gás natural, objeto do contrato de fornecimento de gás.

A estação, do tipo padrão dupla, dispõe de filtros, manômetros, transdutores de pressão e temperatura, além de diversos tipos de válvulas, como de esfera, de bloqueio automático, reguladoras de pressão, de alívio e válvulas de retenção.

3.5 - SISTEMAS DE CONTROLE

Os sistemas de controle foram completamente renovados. Os novos sistemas implantados contemplaram o comando e controle dos seguintes subsistemas:

- Sincronizador;
- Regulador de tensão;
- Proteção dos geradores e transformadores elevadores;
- Conversor Estático de Freqüência (SFC).

Foram incluídas no sistema de controle, todas as interfaces necessárias para os procedimentos de partida e parada da unidade, tais como:

- Controle do sequenciamento;
- Lubrificação da unidade;
- Acionamento do sistema hidráulico;
- Sistema de sobrevelocidade;
- Excitação do gerador;
- Suprimento e ignição de combustível;
- Monitoramento da chama;
- Vibração do eixo e mancais.

Também foram instaladas Interfaces Homem-Máquina (IHM) para cada unidade, sendo uma IHM instalada na sala de comando local da máquina e outra instalada, de forma redundante, na sala de comando central da usina.

As unidades podem ser operadas por qualquer uma das duas IHM's.

As principais funções disponibilizadas pelo sistema, bastante úteis para análise e diagnóstico, são as seguintes:

- Grandezas mecânicas e elétricas geradas pelo sistema;
- Proteção digital para gerador e transformador;
- Regulação automática da tensão;
- Eventos relativos à proteção elétrica do sistema;
- Oscilografia das grandezas elétricas e mecânicas selecionadas.

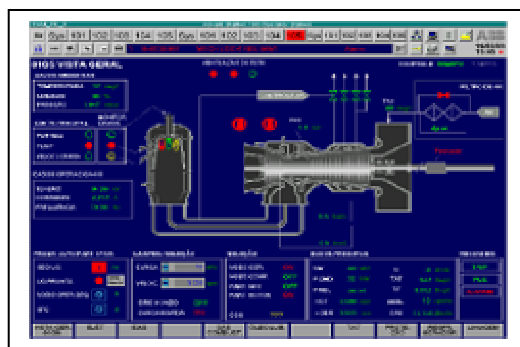


Figura 03 – Tela do Sistema de Controle

3.6 - GERADORES

Os geradores tiveram a sua classe de isolamento modificada, passando da Classe B para a F.

O escopo principal dos serviços realizados nos geradores compreendeu:

Estatos

Remoção do enrolamento e limpeza do núcleo, seguidas pela instalação do novo enrolamento (Classe F) realização de testes de indução e reparos em pontos quentes.

Rotor

Remoção do enrolamento, seguida pela instalação do novo isolamento (Classe F). Foram também instalados novos anéis de retenção e isolamento, além do novo arranjo de escovas e anéis coletores. Na seqüência, foram realizados testes elétricos e de sobrevelocidade.

3.7 - TESTES DE PERFORMANCE

Após o processo de montagem e antes da entrada em operação de cada máquina, foram realizados os chamados Testes de Performance. Os testes tinham como objetivo avaliar e comparar o atendimento às garantias de performance das turbo máquinas quanto à potência elétrica gerada e a eficiência, descritas em contrato. As tolerâncias também são descritas no contrato.

Os procedimentos foram acordados entre as partes envolvidas (cliente e fornecedor) e os testes foram conduzidos rigorosamente, de acordo com estes procedimentos, utilizando-se dos melhores conhecimentos e práticas de engenharia disponíveis no momento.

Os resultados dos testes são sujeitos a ajustes em função da composição real do combustível utilizado e as garantias são válidas para as condições de referencia listadas a seguir:

Quadro 01 – Condições de referência para os testes de performance

Carga na máquina	100 % (base load)
Temperatura ambiente	30 °C
Umidade relativa do ar	60 %
Pressão do ar	1.013 bar
Temperatura do combustível	> 10 °C
Frequência	60 Hz
Fator de Potência	0,90
Condição da unidade	Nova (<200 HO)

Correções devem ser aplicadas, para quaisquer desvios nas condições de referência listadas acima (curvas de correção são fornecidas pelo fabricante).

O teste de performance tem duração de 30 minutos, sendo sete leituras com 5 minutos de intervalo. Foram organizados e coordenados pelo fabricante (Alstom) e pela equipe de Engenharia da Chesf, com participação das equipes de manutenção e operação da UTE Camaçari.

De acordo com o documento técnico "Performance Test Codes on Gas Turbines" (ANSI / ASME PTC 22), a turbina a gás precisa estar em funcionamento com plena carga (base load) por pelo menos 6 horas, antes da realização de qualquer leitura.

Este período de aquecimento (conhecido como warm-up) é necessário para que as condições estáveis de operação sejam atingidas.

Após o período de aquecimento e antes da realização do teste oficial, é recomendada a realização de um pré-teste, nos mesmos moldes do teste oficial. Isto visa uma checagem prévia dos instrumentos e a familiarização da equipe envolvida com os procedimentos do teste.

As equipes, de técnicos e engenheiros, foram compostas por oito pessoas divididas em duplas, sendo quatro representantes da Chesf e 4 representantes da Alstom. Os testes foram sempre realizados quando do término dos serviços de montagem e comissionamento de cada máquina.

Uma programação típica dos testes de performance em cada máquina está indicada no Quadro 02, mostrada a seguir.

Quadro 02 – Programação típica dos Testes de Performance

HORA	ATIVIDADE
08:00	Lavagem do compressor
11:00	Partida
11:10	Sincronização
11:30	Base Load
13:30	Reunião do Pré-teste
17:30	Pré-teste
18:30	Briefing Teste Oficial
19:00	Teste Oficial
20:30	Reunião de avaliação
21:00	Fim das atividades

As grandezas cujas leituras foram coletadas nos testes de performance são as seguintes:

- Temperatura Ambiente, nas entradas norte e sul da tomada de ar (T_{amb});
- Pressão Ambiente (P_{amb});
- Umidade Relativa do Ar (RH_{amb});
- Queda de pressão no sistema de admissão (p_{ei});
- Perda de pressão no sistema de exaustão (p_{ee});
- Temperatura na saída do compressor (T_{k2});
- Pressão na saída do compressor (p_{k2});
- Fluxo de massa e temperatura de entrada do combustível (m_{comb} , t_{comb});
- Vazão de retorno do combustível (apenas na operação com óleo diesel);
- Voltagem, Potência e Fator de Potência Instantânea;
- Horas de operação (HO).

3.8 - REFORMA NO PARQUE DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO DIESEL

Devido à modernização da usina, o parque de tancagem de óleo diesel teve que também passar por uma considerável reforma. O parque se encontrava em condições precárias de utilização e ainda continha parte de um antigo sistema de recebimento e armazenamento do chamado óleo pesado ou residual, que não teria mais nenhuma utilização e por isso deveria ser desmontado e descartado.

Os equipamentos e acessórios desmontados foram basicamente, tubos, conjunto moto-bomba, registros, válvulas, isolamento térmico, instrumentos, sensores, tanque de água quente, suportes, cabos de força e controle, filtros, suportes, bases de concreto, etc.

Com o objetivo de permitir a instalação de medidores individuais de vazão nas bombas do recebimento, de forma a promover a otimização da distribuição do óleo diesel para os tanques e adequar as tubulações de alimentação aos "Fuel Blocks", foram necessárias a desmontagem e modificação de trechos da tubulação existentes, bem como fornecimento e montagem de nova tubulação.

Os principais serviços e fornecimentos para a recuperação do pátio de tancagem, envolveram, dentre outros:

- Recuperação de sistemas de drenagens e bacias de contenção de óleo;
- Análise e recuperação da malha de terra, proteção catódica e canaletas elétricas;
- Substituição e/ou manutenção em registros, válvulas solenóides, pressostatos, manômetros, chaves de nível;
- Recuperação de edificações;
- Melhoria nos sistemas de água de serviço, sistemas de efluentes e sistema de ar comprimido;
- Fornecimento e montagem dos quadros de iluminação e conjuntos de acionamentos locais, fibra óptica, cabos elétricos de força e controle;
- Fornecimento e montagem de novas centrais de alarme contra incêndio;
- Instalação de medidores de vazão para acompanhamento do óleo diesel recebido.

Também foi fornecido e montado um novo sistema de proteção contra descarga atmosférica (SPDA), de acordo com a norma ABNT – NBR 5419/01, para as edificações e tanques da planta de óleo diesel a seguir relacionadas:

- Plataforma de recebimento de óleo diesel;
- Casa das caldeiras;
- Casa das bombas de alimentação das unidades;
- Central de Comando e subestações;
- Sala da área de tratamento de óleo;
- Tanques de armazenamento de óleo diesel.

Na área civil, a empresa contratada recuperou fisicamente todas as bacias de contenção do parque de tancagem.

Esta recuperação consistiu em restabelecer as bacias de contenção ao seu projeto original conforme desenhos de referência e normas pertinentes. Para o atendimento destas normas toda a área das bacias de contenção foi revestida com o emprego de solo-cimento, melhorando sua impermeabilização, resistência aos esforços mecânicos, coesão e suscetibilidade à erosão. O solo-cimento foi aplicado na crista e taludes internos dos diques e no piso das bacias de contenção.

3.9 - SERVIÇOS DIVERSOS

Além das melhorias descritas anteriormente, diversos trabalhos foram paralelamente desenvolvidos na UTE Camaçari, os quais chamamos de serviços diversos e os listamos a seguir:

- Substituição dos disjuntores e cubículos de média tensão;
- Revisão dos sistemas elétricos remanescentes;
- Revisão em sistemas auxiliares, motores e bombas;
- Recondicionamento das chaminés de exaustão;
- Instalação do novo sistema de medição e faturamento;
- Instalação de relés de tecnologia digital;
- Instalação de iluminação externa à prova de explosão;
- Melhoria nas instalações administrativas;
- Implantação de projeto para urbanização e paisagismo da usina.

Após o processo de modernização e repotenciação, a UTE Camaçari passou a ter as características apresentadas na Tabela 02, a seguir. Pode-se observar o aumento da potência nominal, que passou de 58.000KW (Tabela 01) para 66.700KW, se operando com óleo diesel, podendo ainda produzir 70.000KW, se operando com gás natural.

Tabela 02 – Dados da UTE Camaçari após a modernização e repotenciação

ITEM	DESCRIÇÃO
Tipo	Heavy Duty (Industrial)
Modelo	11D4 / 11D4A
Configuração	Ciclo Simples (aberto)
Potência Nominal (Óleo Diesel)	66.700 KW (cada)
Potência Nominal (Gás Natural)	70.000 KW (cada)
Rotação	3.600 RPM
Sistema de Controle	Digital
Estágios do Compressor	05
Estágios da Turbina	17
Eficiência Térmica	30,5%
Vazão de Combustível (Óleo Diesel)	18,90 t/h
Vazão de Combustível (Gás Natural)	17,10 t/h
Classe de Isolamento do Gerador	F

4.0 - CONCLUSÃO

A modernização e repotenciação da UTE Camaçari proporcionaram um aumento da sua potência nominal de 290MW para 350MW, além de possibilitar a operação da mesma com óleo diesel e gás natural, proporcionar um aumento da confiabilidade operacional, aumento na disponibilidade das máquinas e melhoria na eficiência térmica, que passou de 24% para 30,5%.

Atualmente a UTE Camaçari encontra-se com todas as unidades disponíveis para a operação, o que não ocorria antes dos trabalhos de modernização e repotenciação.

Com relação às emissões de gases do efeito estufa (principalmente CO₂ e NO_x), também houve uma redução das mesmas após os trabalhos, principalmente devido ao fato de as máquinas modernizadas e repotenciadas terem a opção de operar com gás natural e também face à economia de combustível com o aumento da eficiência térmica.

Durante a realização das atividades, foi fundamental a boa integração entre os técnicos das equipes envolvidas, a fim de facilitar os processos realizados, as análises técnicas e a discussão dos resultados encontrados. Deve-se salientar também a importância dos treinamentos, tais como: turbinas a gás, atmosferas explosivas, tanques de armazenagem, sistemas de controle, etc.

Um dos pontos relevantes no acompanhamento das atividades por parte dos técnicos da Chesf, foi a realização dos testes de performance, os quais verificam o desempenho das máquinas, e checam os valores de variáveis de interesse como eficiência térmica e potência útil da máquina, conforme estabelecido no contrato firmado entre a empresa geradora, no caso a Chesf, e o fabricante, a Alstom.

Vale ressaltar aqui a importância desses testes, uma vez que eles antecedem os estágios finais de comissionamento e operação da máquina.

Além disto, o conhecimento dos procedimentos básicos também permitiu o melhor acompanhamento das atividades, principalmente àquelas relacionadas aos testes de desempenho das máquinas, haja vista os procedimentos e cálculos necessários à determinação das variáveis técnicas constantes no contrato firmado entre as partes interessadas.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Performance Test Code on Gas Turbines ANSI / ASME PTC 22 – 1997
- (2) Saravanamuttoo, H. I. H.; Rogers, G. F. C.; Cohen, H. – Gas Turbine Theory – Prentice Hall, 5th Edition – 2001
- (3) Performance Test Procedure for GT11DM Upgrade – 1AHX 701 895, Rev. B – 2003
- (4) Performance Test Procedure for Oil Operation – 1AHX 613 728, Rev. A – 2004
- (5) Boyce, M. P. – Gas Turbine Engineering Handbook – Gulf Professional Publishing, 3rd Edition – 2006

6.0 DADOS BIOGRÁFICOS

Douglas Balduino Guedes da Nóbrega

Nascido em Recife – PE, em 30 de julho de 1970

Graduação: Engenharia Mecânica (1994) e Administração de Empresas (1991)

Pós-graduado em Engenharia de Produção (UFPE) e Planejamento e Estratégia (Escola Superior de Guerra)

Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Sistemas e Processos Térmicos (UFPE)

Professor em cursos de pós-graduação e MBA em Gerenciamento de Projetos

Certificado como Project Management Professional

Membro do Conselho Editorial da Revista Brasileira de Gerenciamento de Projetos (RBGP)

Membro do PMI (Project Management Institute - EUA) desde 2003

Alcides Codeceira Neto

Nascido em Recife - PE, em 23 de junho de 1961.

Graduação: Engenharia Elétrica: UFPE (1983)

Doutorado (2000) e Mestrado (1995) em Engenharia Mecânica (Tecnologia de Turbinas a Gás): Cranfield University – Inglaterra;

Professor Adjunto da Escola Politécnica de Pernambuco - Universidade de Pernambuco, desde 1989.

Membro da ASME (American Society of Mechanical Engineers) / IGTI (International Gas Turbine Institute), desde 2000, onde atua em atividades científicas e administrativas no “Cycle Innovations Committee”.