2.5. A EXPERIÊNCIA DO INPE EM MICROGRAVIDADE NO "SPACE SHUTTLE"

Célio Costa Vaz
E-mail: celio@dea.inpe.br
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE
São José dos Campos, SP, Brasil

Resumo - Este trabalho apresenta a experiência do INPE na coordenação das atividades para realização de experimentos de crescimento de cristais de proteínas a bordo do "Space Shuttle", vôo STS-95, realizado em Outubro de 1998. O lançamento destes experimentos no STS-95 foi parte de um programa de treinamento visando a capacitação do INPE nas práticas e atividades relacionadas ao projeto de experimentos científicos de microgravidade para missões espaciais tripuladas do "Space Shuttle" e da Estação Espacial Internacional. Além de relatar a experiência do INPE, este trabalho procura fornecer à comunidade científica uma primeira introdução ao processo de preparação e aprovação de experimentos científicos de microgravidade para missões espaciais tripuladas do "Space Shuttle" e da Estação Espacial Internacional.

1. INTRODUÇÃO - O Brasil é o único pais emergente a participar da construção da Estação Espacial Internacional (ISS), levado adiante por um consórcio de países, cujo término está previsto para o início da próxima década. Decorrente desta participação, o Brasil possui o direito de utilização de várias instalações a bordo da ISS, como também possui direito a espaço para a realização de experimentos científicos.

Essa participação e a consequente alocação de recursos a bordo em termos de tempo de funcionamento e de transporte de experimentos geraram a necessidade de um preparo para o engajamento neste novo tipo de atividade. Dessa forma, visando estabelecer as bases técnicas necessárias para a utilização pela comunidade científica nacional das instalações e dos espaços adquiridos pelo Brasil na ISS, o INPE desenvolveu um programa de treinamento visando capacitar-se nas práticas e atividades relacionadas ao projeto, fabricação, aprovação para vôo, integração, operação, suporte ao vôo e recuperação de experimentos científicos (cargas úteis) para missões espaciais tripuladas tanto do Ônibus Espacial da Nasa ("Space Shuttle") quanto para a ISS. Este programa de treinamento possibilitou o lançamento de experimentos brasileiros de crescimento de cristais de proteínas em ambiente de microgravidade no vôo STS-95 do Ônibus Espacial da NASA, em Outubro de 1998.

Portanto, este trabalho além de relatar a experiência do INPE na coordenação das atividades para a realização de experimentos em microgravidade na missão STS-95 do "Space Shuttle", tem por objetivo fornecer à comunidade científica brasileira uma primeira introdução ao processo de preparação e aprovação de experimentos científicos para missões espaciais.

2. PROPOSTAS DE EXPERIMENTOS EM MICROGRAVIDADE

Havendo o anúncio de oportunidade de lançamento de experimentos científicos em uma determinada missão do "Space Shuttle", o primeiro passo a ser dado consiste na elaboração de uma proposta, que deve vir a ser aprovada pela NASA. Dependendo do

tipo do experimento, do equipamento ou equipamentos nos quais serão realizados o experimento e dos materiais envolvidos, o processo de aprovação para o vôo pode ser relativamente simples e rápido ou complexo e longo como será visto a seguir.

O processo de elaboração de propostas para a realização de experimentos científicos a bordo do "Space Shuttle", depende de como a proposta é encaminhada à NASA. Se a proposta visa atender a anúncios de oportunidades da NASA, geralmente são encaminhadas através da "Microgravity Research Division" e recebem o código "UG". Estas propostas passam por um processo de avaliação que compreende uma série de revisões científicas e de engenharia. Este processo tipicamente leva de 3 a 4 anos para a aprovação da proposta do experimento para o vôo.

No caso de propostas comerciais, estas são encaminhadas à NASA através da "Space Development and Commercial Research Division" e recebem o código "UX". Neste caso a proposta passa por um processo mais simples e rápido de revisões com ênfase principalmente nos aspectos de segurança da tripulação e do veículo ("Space Shuttle"). Este processo tipicamente leva cerca de um ano para a aprovação do experimento para o vôo, isto no caso de não haver a necessidade de qualificação de equipamentos, ou seja, do experimento ser realizado em equipamentos que já possuem um histórico de vôo. No caso de haver necessidade de qualificação do equipamento no qual será realizado o experimento, este processo também pode levar de 3 a 4 anos até a aprovação para o vôo.

3. Requisitos e Normas Técnicas

As propostas para a realização de experimentos de microgravidade (carga útil), para vôo no "Space Shuttle" devem satisfazer a uma série de requisitos estabelecidos em várias normas técnicas da NASA relacionadas principalmente a aspectos de segurança do vôo e às interfaces com o "Space Shuttle". A título de exemplo pode-se mencionar as seguintes normas:

- "NSTS 1700.7B Safety Policy and Requirements for Payloads Using the Space Transportation System";
- "KHB 1700.7B Space Shuttle Payload Ground Safety Handbook";
- "NSTS 13830B Implementation Procedure for NSTS Payloads System Safety Requirements for Payloads Using the Space Transportation System";
- "NSTS 21000-IDD-MDK Middeck Interface Definition Document";

A Estação Espacial Internacional possui normas similares às do "Space Shuttle" relacionadas aos aspectos de segurança e às interfaces para o projeto de experimentos (cargas úteis). Alguns exemplos são:

- "SSP 50431 Space Station Program Requirements for Payloads";
- "NSTS 1700.7 ISS Addendum – Safety Policy and Requirements for Payloads Using the International Space Station";
- "SSP 57000 Pressurized Payload Hardware Interface Requirements Document";
- "SSP 57003 Attached Payload Interface Requirements Document".
- "SSP-57010 Generic Payload Verification Plan".

4. Atividades a Nível de Sistemas

A Figura 1 mostra as principais etapas pelas quais passam as propostas de experimentos de microgravidade para vôo no "Space Shuttle".

Figura 1: Etapas das propostas de experimentos de microgravidade para vôo no "Space Shuttle"

O processo é iniciado com a definição sistêmica do experimento de microgravidade. Esta definição deve considerar os seguintes aspectos:

4.1 Definição da Carga Útil:

- Justificativas
- Viabilidade técnica e necessidade de acesso ao espaço
- Colaboradores Internacionais
- Aprovação dos organismos competentes (quando for o caso)
- Requisitos Científicos
- Funcionais
- Desempenho
- Ambientais
- Físicos
- Aquisição e Processamento de Dados
- Interfaces Humanas
- Biológicos (Experimentos c/ plantas, animais e seres humanos)
- Requisitos Técnicos
- Especificações a nível de sistema
- Definição das Interfaces com o "Space Shuttle" e "ISS"
- Definição dos requisitos operacionais (alocação de recursos do "Space Shuttle" e da ISS)
- Definição dos requisitos de segurança
    - "Ground activities (KSC)"
    - "Flight activities - (JSC)"
- Observação dos requisitos sobre Fatores Humanos (NASA-STD-50005)
- Gerenciamento ("NASA Handbook 7120.5 Management of Major System and Projects")
- Projeto dividido em Fases (A, B, C, D, E)
    - Planejamento
        - Plano de Desenvolvimento
        - Garantia da Qualidade
            - Plano de Garantia do Produto
            - Gerenciamento da Configuração e Verificação
        - Estrutura de Trabalho (WBS)
        - Cronograma Físico/Financeiro
        - Custos

- Fontes de Recursos.

Uma vez elaborada a proposta esta deve ser encaminhada à NASA para análise e aprovação.

4.2 Propostas para NASA

As propostas de experimentos brasileiros de crescimento de cristais de proteínas, para o vôo STS-95, realizado em Outubro de 1998, receberam tratamento comercial (código "UX"). Os experimentos seriam realizados em equipamentos com histórico de vôo, pertencentes à um dos Centros Comerciais Espaciais (CSC) da NASA. Neste caso particular, como os equipamentos onde seriam realizados os experimentos pertenciam ao CSC, este se responsabilizou pelas atividades de aprovação dos mesmos para o vôo STS-95.

Ao INPE coube a coordenação de todas as atividades de preparação e envio das informações requeridas pela NASA para aprovação dos experimentos. Foram encaminhadas doze propostas de experimentos para crescimento de cristais de proteínas. Ao final deste processo oito experimentos foram aprovados pela NASA para o vôo STS-95. Quatro propostas de experimentos não foram aprovadas devido ao tempo de missão ter sido considerado insuficiente para que ocorresse o crescimento dos cristais em órbita. Estas quatro propostas foram consideradas pela NASA como inadequadas para a missão STS-95. A NASA possui o direito de recusar propostas caso as mesmas não satisfaçam aos requisitos de segurança ou sejam consideradas inadequadas para uma determinada missão.

Propostas para NASA:

- Propostas Científicas (Código UG)
  NASA/Microgravity Research Division.
- Propostas Comerciais (Código UX)
  NASA/Commercial Space Center - CSC
- Propostas Internacionais (Código I)

4.3 Relacionamento com os Centros Espaciais da NASA

Com a aprovação das propostas de experimentos, inicia-se o relacionamento com os diversos Centros Espaciais da NASA para as atividades de verificação dos requisitos de segurança, treinamento da tripulação, integração dos experimentos com o veículo lançador, suporte à missão e recuperação dos experimentos após o retorno à terra. A Figura 2 mostra de forma esquemática o relacionamento com os Centros Espaciais da NASA.

Figura 2 - Relacionamento com os Centros Espaciais da NASA

Centros Espaciais da NASA

Relacionamento com os Centros Espaciais da NASA:

- Johnson Space Center (JSC)
  - Gerenciamento das Operações de Vôo
  - Suporte à Missão
  - Treinamento de Tripulantes
  - Verificação dos requisitos de Segurança
  - Interfaceamento com o "Payload Operations Control Center – POCC"
- Kennedy Space Center (KSC)
  - Preparação da Carga Útil (Vôos do "Shuttle")
  - Integração com o veículo lançador
  - Lançamento
  - Recuperação da Carga Útil
- Marshall Space Flight Center
  - Preparação de Cargas Úteis para a ISS
  - Operações, Gerenciamento e Integração de Cargas Úteis;
  - Treinamento de Tripulantes
  - Treinamento de Pessoal de Suporte
  - Verificação dos requisitos de segurança.

O relacionamento com os Centros Espaciais da NASA se dá através do desenvolvimento de uma série de atividades a nível de sistema para o projeto e preparação dos vários níveis de informações necessárias para atender às diversas revisões formais com a NASA. Uma síntese das atividades a nível de sistema encontra-se no item 3.4 abaixo. A Figura 2 mostra de forma esquemática o ciclo de revisões de projeto com a NASA.

4.4 Atividades a Nível de Sistema:

- Projeto Conceitual
- Projeto Preliminar
- Projeto Detalhado/Desenvolvimento
- Acompanhamento da Fabricação
- Testes e Avaliação
- Documentação das Interfaces
- Participação no Ciclo de Revisões do Projeto com a NASA.
- Entrega de Cargas Úteis p/ Vôo
- Suporte à Missão
- Recuperação de Cargas Úteis

4.5 Ciclo de Revisões do Projeto com a NASA (Equipamentos sem histórico de vôo no "Space Shuttle") :

- Authority to Proceed (L-38)
- Flight Phase 0/1 Safety Review (L-34)
- Ground Phase 0/1 Safety Review (L-33)
- PDR/Phase I (L-34)
- Flight Phase 2 Safety Review (L-23)

- Ground Phase 2 Safety Review (L-20)
- CDR/Phase II (L-24)
- Flight Phase 3 Safety Review (L-12)
- Ground Phase 3 Safety Review (L-8)
- Hardware Delivery (L-5)
- CoFR (Certificate of Flight Readiness) # 1 (L-2)
- CoFR (Certificate of Flight Readiness) # 2 (L-1)
- Launch

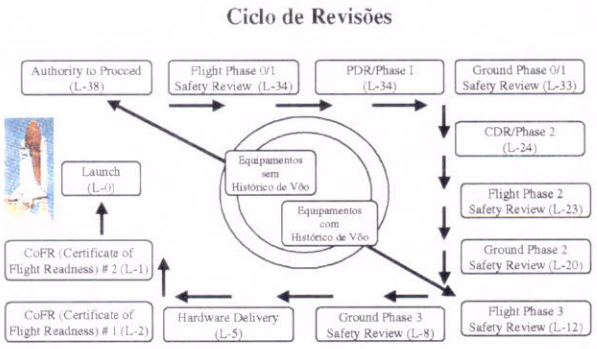

Figura 3: Ciclo de Revisões do Projeto para obtenção do Certificado de Aptidão ao Vôo (CoFR).

5. Campanha de Lançamento

Durante a campanha de lançamento ocorre a atividade de carregamento dos experimentos nos equipamentos nos quais os mesmos serão realizados. Estas atividades são realizadas no "Kennedy Space Center – KSC, FL-USA". Para a realização desta atividade, é necessária a presença de uma equipe dos responsáveis pela carga útil (experimentos) composta de técnicos, engenheiros e pesquisadores treinados nas atividades de carregamento dos experimentos e familiarizados com as normas e procedimentos de controle da qualidade e segurança do KSC.

No caso dos experimentos de crescimento de cristais de proteínas, o carregamento ocorreu 24 horas antes do lançamento. Esta atividade foi realizada por técnicos, engenheiros e pesquisadores do CSC da NASA, com auxílio de pesquisadores brasileiros e acompanhamento de engenheiros do INPE.

A atividade principal dos pesquisadores é executar os procedimentos de carregamento das soluções de proteína nos equipamentos nos quais se dará o crescimento dos cristais em órbita e garantir que os procedimentos previstos sejam executados de forma correta. Todas as atividades devem estar descritas de forma detalhada em procedimentos previamente aprovados pela NASA. Uma equipe de controle de qualidade da NASA passa periodicamente para inspecionar as atividades e verificar se as mesmas estão sendo executadas de acordo com os procedimentos. Ao término das atividades de carregamento, é feita a entrega formal dos equipamentos contendo os experimentos para a NASA, que se encarregará do transporte e instalação no "Space Shuttle". Após a entrega dos equipamentos contendo os experimentos, pode-se acompanhar e monitorar o transporte e a instalação no "Space Shuttle" através de um circuito interno de televisão.

Vale ressaltar que todos os equipamentos e materiais necessários para a execução das atividades de carregamento devem ter sido previamente providenciados, transportados para o KSC, instalados e posteriormente retirados pelos responsáveis pela carga útil (experimento). Existe portanto uma atividade de logística que deve ter sido

cuidadosamente planejada e preparada pelo Grupo de Sistemas responsável pelos experimentos. Falhas de logística que porventura venham a ocorrer durante as atividades de carregamento dos experimentos podem levar à perda da oportunidade de lançamento.

As atividades dos engenheiros que participam do carregamento dos experimentos estão relacionadas à integração a nível dos equipamentos, verificações e procedimentos de garantia da qualidade relacionados aos equipamentos nos quais serão realizados os experimentos.

6. Suporte à Missão

Durante o vôo, cada experimento embarcado possui um responsável pelo suporte à missão. O responsável deve dar resposta a eventuais dúvidas da tripulação na operação dos experimentos em órbita, bem como tomar decisões no caso de anomalias.
As atividades de suporte à missão são realizadas no "Payload Operations Control Center – POCC", em Houston, Texas, de onde todas as demais atividades de suporte e controle da missão são também realizadas.

Além das informações referentes aos experimentos, que são periodicamente transmitidas pelos astronautas, o responsável pelo suporte à missão possui acesso às telemetrias básicas referentes aos diversos sensores instalados nos compartimentos "middeck" e "spacehab", onde geralmente são alocadas as cargas úteis relativas a experimentos científicos no "Space Shuttle". Relatórios diários sobre o andamento dos experimentos devem ser entregues à NASA pelo responsável de suporte à missão.

7. Recuperação dos Experimentos

Cerca de 4 horas após o pouso, os experimentos são entregues pela NASA aos respectivos responsáveis. No caso dos experimentos de cristais de proteínas, os equipamentos contendo os experimentos foram entregues aos representantes do CSC da NASA, e imediatamente transportados do Kennedy Space Center, onde ocorreu o pouso da missão STS-95 para Birmingham-AL, onde se localiza o CSC.
No CSC os experimentos foram desmontados, os cristais de proteínas acondicionados para o transporte e trazidos para o Brasil por representantes do INPE e entregues aos pesquisadores responsáveis para análise.

8. Conclusões

Para que o Brasil possa vir a realizar experimentos científicos de microgravidade utilizando equipamentos nacionais a bordo do "Space Shuttle" ou futuramente da Estação Espacial Internacional, é necessário que o País disponha de equipes treinadas para desenvolver projetos de cargas úteis para missões espaciais tripuladas do "Space Shuttle" e da Estação Espacial Internacional, como também estar preparado para o engajamento nas diversas atividades para obtenção do certificado de aptidão ao vôo, da campanha de lançamento, do suporte à missão e da recuperação dos experimentos.
Durante o decorrer do ano de 1998, o INPE desenvolveu um programa de treinamento visando preparar-se para o engajamento neste novo tipo de atividade. Este programa de treinamento possibilitou o lançamento de experimentos de crescimento de cristais de proteínas no vôo STS 95 do "Space Shuttle", em Outubro de 1998.

A Estação Espacial Internacional tornará possível a realização de experimentos de microgravidade com maiores tempo de duração que os realizados atualmente através de vôos parabólicos, plataformas suborbitais, em satélites recuperáveis ou em missões do "Space Shuttle". No entanto, para promover a real capacitação e independência do País nestas atividades são necessárias novas iniciativas, em continuidade às recentemente

empreendidas pelo INPE. Este é também o anseio da comunidade científica brasileira na área de cristalografia de macromoléculas, que sugere por um lado, o projeto e desenvolvimento de equipamentos nacionais para "acomodar o desenvolvimento de experimentos brasileiros de forma independente e portanto otimizada às nossas necessidades específicas"[1], e por outro, a criação de "um núcleo operacional de apoio aos pesquisadores brasileiros" para a realização de experimentos em ambiente de microgravidade.

O desenvolvimento de equipamentos nacionais possibilitará elevar a qualificação da indústria nacional ao "status" de fornecedor de cargas úteis para missões espaciais tripuladas, contribuindo para ampliar a presença da indústria nacional no mercado de bens e serviços no setor aeroespacial.

A criação de um núcleo operacional de apoio à realização de experimentos em microgravidade se faz necessária para coordenar todas as atividades técnicas relacionadas à colocação de experimentos brasileiros a bordo da Estação Espacial Internacional, desde a aprovação dos experimentos para o vôo, lançamento, suporte à missão e de recuperação dos experimentos, nos mesmos moldes realizados durante o programa de treinamento e vôo de experimentos na missão STS-95 do "Space Shuttle".

Finalmente, com o propósito de dar continuidade aos experimentos já iniciados como também oferecer novas oportunidades para a realização de experimentos de crescimento de cristais de proteínas em microgravidade, o INPE está tomando a iniciativa de propor a realização de novos experimentos a bordo do "Space Shuttle" no ano 2000.

A experiência adquirida no planejamento e projeto de cargas úteis para missões espaciais tripuladas ainda é bastante restrita, no entanto, as condições técnicas básicas necessárias para o planejamento e projeto de novos experimentos foram estabelecidas. Somente através de novas iniciativas e através da alocação de recursos financeiros específicos para estas atividades é que os investimentos até então realizados poderão ser realmente sedimentados.

Como ficou demonstrado, a realização de experimentos em ambiente de microgravidade exige o planejamento e execução contínua de atividades que de certa forma não podem estar sujeitas a grandes atrasos de cronograma físico e de disponibilidade eventual de recursos financeiros. As missões do "Space Shuttle" programadas para transportar equipamentos para a ISS ou para a realização de experimentos em órbita certamente não serão adiadas ou canceladas em função das nossas cargas úteis (experimentos). A perda de uma missão em função de problemas dessa natureza pode levar a situações de difícil recuperação para o País, como a perda da credibilidade internacional e dificuldades para obtenção de espaços em novas missões.

9. Referências

1. Vaz, C. C. e Carvalho, H. de C., "XCF-RL-007 Relatório de Conclusão das Atividades de Proteínas em Ambiente de Mircrogravidade", INPE, 1999.
2. Vaz, C. C. e Carvalho, H. de C., "XCF-RL-005 Experimentos Brasileiros de Crescimento de Cristais de Proteínas – Missão STS-95", INPE, 1998.
3. Vaz, C. C. e Carvalho, H. de C., "XCF-RL-004 Relatório de Atividades de Suporte à Missão STS-95 – Experimentos Brasileiros de Crescimento de Cristais de Proteínas", INPE, 1998.
4. "Requirements and Procedures for Design and Development of Flight-Ready Equipment for the Space Shuttle and the International Space Station", The Center for Macromolecular Crystallography at The University of Alabama Birminham,USA 998.SSP 50431 "Space Station Program Requirements for Payloads".
5. 1998, SSP 50431 - "Space Station program Requirements for Payloads".