

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Atividades de Pesquisa  
Formulário de Tramitação e Registro**

Situação: **Aprovação/Depto Coordenador**  
Protocolo nº: **2013.1156**

|  |   |
|--|---|
| Título:  | Desenvolvimento de micropropulsores catalíticos a etanol  |
| Resumo:  | O desenvolvimento nanosatélites requer novas estratégias de propulsão para atender diversas tarefas de posicionamento onde empuxos na ordem de $\mu\text{N}$ são necessários. Etanol tem sido considerado como propelente por apresentar alta densidade energética, por ser atóxico e de fácil manuseio. Porém, a simples miniaturização dos atuais sistemas de propulsão química enfrenta em uma série de barreiras tecnológicas, dentre elas a extinção e instabilidade de chama. Dado o acima exposto, o objetivo geral deste projeto de pesquisa é o de desenvolver micropropulsores catalíticos a etanol. Observa-se que esta tecnologia apresenta nível de maturidade tecnológica TRL 3. Sendo assim, o presente projeto será dividido em duas fases de com 18 meses para execução de cada uma delas. A Fase 1 contempla o estudo experimental e a simulação e modelagem numérica do escoamento da mistura reagente multifásica em meios porosos e da combustão catalítica da mistura para aplicações em micropropulsão. Na Fase 2 os conceitos pesquisados na Fase 1 serão aplicados no projeto e concepção de protótipos de micropropulsores catalíticos a etanol. Estes protótipos serão testados e caracterizados em bancada experimental. Os principais resultados esperados do projeto são bancadas experimentais para teste de combustão catalítica e medição de empuxo em microreatores, ferramenta computacional para estudo e otimização de micropropulsores, protótipo de micropropulsor, material didático e artigos científicos. A equipe de projeto é composta por docentes e alunos do curso de Engenharia Aeroespacial da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville, e por docentes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Federal do Paraná. Considera-se de grande valia o estabelecimento desta linha de pesquisa agregada ao curso de Engenharia Aeroespacial da UFSC/Joinville. |
| Palavras chave:<br>(máximo 5)  | micropropulsão; catálise; etanol  |
| Grande Área do conhecimento:   | Engenharias   |
| Área do conhecimento:  | Propulsão Aeroespacial  |
| Nome do Grupo de Pesquisa:<br>(CNPq - Diretório)                                   | Grupo de Modelagem e Simulação Computacional  |
| Está vinculado a outro projeto de pesquisa?  |   |
| Período de realização:   | 01/10/2013 a 30/09/2016   |
| A atividade receberá algum aporte financeiro?:                                     | Sim   |
| Orçamento Total:   | R\$ 243.200,00  |
| Financiador:   | Outro   |
| Especificar financiador:   | Agência Espacial Brasileira   |
| Propriedade Intelectual<br>(o resultado do projeto é ou poderá ser protegido por): |   |

**Envolvidos neste projeto de pesquisa**

|                      |                           |
|----------------------|---------------------------|
| <b>Coordenador</b>   |                           |
| Nº do SIAPE:         | 1970104                   |
| Nome do Coordenador: | Rafael de Camargo Catapan |
| CPF do Coordenador:  | 2903615918                |
| Departamento:        | CAMPUS DE JOINVILLE       |
| Centro:              | CAMPUS DE JOINVILLE       |
| Regime de trabalho:  | DE                        |
| Fone de contato:     | 4899854103                |
| E-mail:              | rafael.catapan@ufsc.br    |

|   |         |
|---|---------|
| Carga horária semanal nesta atividade:            | 8 horas |
| Receberá remuneração nesta atividade de pesquisa? | Não     |

|  |     |
|--|-----|
| Você gostaria de participar do guia de fontes da UFSC? | Sim |
|--|-----|

|  |     |
|--|-----|
| Outros prof. ou servidores da UFSC envolvidos? | Sim |
| Alunos da UFSC envolvidos?                     | Sim |
| Pessoas externas à UFSC envolvidas?            | Sim |

|  |   |
|--|---|
| <b>Participantes</b>                           |   |
| Participante: Cirilo Seppi Bresolin            | CAMPUS DE JOINVILLE                               |
| Participante: Juan Pablo de Lima Costa Salazar | CAMPUS DE JOINVILLE                               |
| Part. externo: Fernando Marcelo Pereira        | Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) |

|                      |
|----------------------|
| Outras Considerações |
|----------------------|

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| Nº do Processo: | 2013.1156 |
|-----------------|-----------|



Universidade Federal de Santa Catarina  
Atividades de Pesquisa  
Formulário de Tramitação e Registro - Participante

Situação: **Aprovação/Depto Coordenador**

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Título da Atividade:       | Desenvolvimento de micropropulsores catalíticos a etanol  |
| Objetivos e Metodologia:   | O desenvolvimento nanosatélites requer novas estratégias de propulsão para atender diversas tarefas de posicionamento onde empuxos na ordem de $\mu\text{N}$ são necessários. Etanol tem sido considerado como pr |
| Grande Área:               | Engenharias   |
| Área:                      | Propulsão Aeroespacial  |
| Nome do Grupo de Pesquisa: | Grupo de Modelagem e Simulação Computacional  |
| Período Realização:        | 01/10/2013 a 30/09/2016   |
| Orçamento Total:           | R\$ 243.200,00  |

**Participante**

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Nro do SIAPE:                                     | 2054852                             |
| Participante:                                     | Cirilo Seppi Bresolin               |
| CPF do Participante:                              | 96935910030                         |
| Departamento:                                     | CAMPUS DE JOINVILLE                 |
| Centro:   | CAMPUS DE JOINVILLE                 |
| Regime de Trabalho:                               | DE                                  |
| Fone:   | 4837212632                          |
| Período de participação nesta Atividade:          | 01/Outubro/2013 a 28/Fevereiro/2015 |
| Carga Horária nesta Atividade:                    | 5 (Ex.: 7,5)                        |
| Receberá remuneração nesta atividade de pesquisa? | Não                                 |
| Valor TOTAL da remuneração:                       |                                     |

**Histórico**

09/25/2013 02:25:06 PM - Criado por Rafael de Camargo Catapan 1970104



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Atividades de Pesquisa**  
**Formulário de Tramitação e Registro - Participante**

Situação: **Aprovação/Depto Coordenador**

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Título da Atividade:       | Desenvolvimento de micropropulsores catalíticos a etanol  |
| Objetivos e Metodologia:   | O desenvolvimento nanosatélites requer novas estratégias de propulsão para atender diversas tarefas de posicionamento onde empuxos na ordem de $\mu\text{N}$ são necessários. Etanol tem sido considerado como pr |
| Grande Área:               | Engenharias   |
| Área:                      | Propulsão Aeroespacial  |
| Nome do Grupo de Pesquisa: | Grupo de Modelagem e Simulação Computacional  |
| Período Realização:        | 01/10/2013 a 30/09/2016   |
| Orçamento Total:           | R\$ 243.200,00  |

**Participante**

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Nro do SIAPE:                                     | 1807613                             |
| Participante:                                     | Juan Pablo de Lima Costa Salazar    |
| CPF do Participante:                              | 1981037942                          |
| Departamento:                                     | CAMPUS DE JOINVILLE                 |
| Centro:   | CAMPUS DE JOINVILLE                 |
| Regime de Trabalho:                               | DE                                  |
| Fone:   | 4837212632                          |
| Período de participação nesta Atividade:          | 01/Outubro/2013 a 28/Fevereiro/2015 |
| Carga Horária nesta Atividade:                    | 2 (Ex.: 7,5)                        |
| Receberá remuneração nesta atividade de pesquisa? | Não                                 |
| Valor TOTAL da remuneração:                       |                                     |

**Histórico**

09/25/2013 02:23:33 PM - Criado por Rafael de Camargo Catapan 1970104

 Visualizar Coordenador



**Título do Projeto :** Desenvolvimento de micropropulsores catalíticos a etanol



**Participante Externo**

|  |   |
|--|---|
| Nome:                                    | Fernando Marcelo Pereira                          |
| Instituição:                             | Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) |
| Período de participação nesta Atividade: | a   |

## **Título do projeto**

Desenvolvimento de micropropulsores catalíticos a etanol

## **Apresentação e Resumo do projeto (2500 caracteres)**

O desenvolvimento nanosatélites requer novas estratégias de propulsão para atender diversas tarefas de posicionamento onde empuxos na ordem de  $\mu\text{N}$  são necessários. Etanol tem sido considerado como propelente por apresentar alta densidade energética, por ser atóxico e de fácil manuseio. Porém, a simples miniaturização dos atuais sistemas de propulsão química enfrenta em uma série de barreiras tecnológicas, dentre elas a extinção e instabilidade de chama.

Dado o acima exposto, o objetivo geral deste projeto de pesquisa é o de desenvolver micropropulsores catalíticos a etanol. Observa-se que esta tecnologia apresenta nível de maturidade tecnológica TRL 3. Sendo assim, o presente projeto será dividido em duas fases de com 18 meses para execução de cada uma delas. A Fase 1 contempla o estudo experimental e a simulação e modelagem numérica do escoamento da mistura reagente multifásica em meios porosos e da combustão catalítica da mistura para aplicações em micropropulsão. Na Fase 2 os conceitos pesquisados na Fase 1 serão aplicados no projeto e concepção de protótipos de micropropulsores catalíticos a etanol. Estes protótipos serão testados e caracterizados em bancada experimental. Os principais resultados esperados do projeto são bancadas experimentais para teste de combustão catalítica e medição de empuxo em microreatores, ferramenta computacional para estudo e otimização de micropropulsores, protótipo de micropropulsor, material didático e artigos científicos.

A equipe de projeto é composta por docentes e alunos do curso de Engenharia Aeroespacial da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville, e por docentes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Federal do Paraná. Considera-se de grande valia o estabelecimento desta linha de pesquisa agregada ao curso de Engenharia Aeroespacial da UFSC/Joinville.

## **Objetivo e resultados esperados (2000 caracteres)**

O objetivo geral deste projeto de pesquisa é o de desenvolver micropropulsores catalíticos a etanol. Abaixo, são apresentados os objetivos de cada uma das fases do projeto.

### Fase 1

O objetivo geral desta fase é o estudo experimental e a simulação e modelagem numérica do escoamento da mistura reagente multifásica em meios porosos e da combustão catalítica da mistura para aplicações em micropropulsão.

#### Objetivos específicos

1. Construir uma bancada experimental para testes de escoamento multifásico e combustão catalítica.
2. Realizar testes de evaporação da mistura reagente multifásica em meio poroso inerte e catalítico sob condições controladas.
3. Realizar testes de combustão catalítica em condições de micropropulsão.
4. Modelar e implementar computacionalmente a zona de evaporação e mistura.
5. Acoplar o modelo da zona de evaporação a um modelo existente de escoamento reativo em meios porosos catalíticos.
6. Simular condições de operação de interesse em micropropulsão e comparar com resultados experimentais.
7. Desenvolver material didático.

### Fase 2

O objetivo geral desta fase é o de testar a concepção de micropropulsores catalíticos a etanol através de um protótipo semelhante ao produto final.

#### Objetivos específicos:

8. Projetar bocal convergente-divergente.
9. Contruir protótipos de micropropulsores catalíticos.
10. Construir uma bancada experimental para testes de micropropulsores
11. Medir empuxo de micropropulsores catalíticos.
12. Desenvolver material didático.

#### Resultados esperados

1. Bancadas experimentais para teste de combustão catalítica e medição de empuxo em microreatores.
2. Ferramenta computacional para estudo e otimização de micropropulsores a combustão catalítica.
3. Protótipo de micropropulsor a combustão catalítica de etanol.
4. Material didático: vídeo-aulas do conteúdo teórico aplicado no projeto e dos experimentos. Material será disponibilizado em uma página da internet.
5. Artigos científicos.

## **Descrição e concepção do projeto (2000 caracteres)**

O desenvolvimento nanosatélites requer novas estratégias de propulsão. Nestes dispositivos, empuxos na ordem de  $\mu\text{N}$  até décimos de N são requeridos para uma série de tarefas de manutenção de órbita e reposicionamento para missões específicas.

Sistemas de propulsão baseados em propelentes líquidos apresentam vantagens devido à simplicidade, confiabilidade e alta densidade energética. Porém, a simples miniaturização dos atuais sistemas enfrenta em uma série de barreiras tecnológicas. A diminuição da câmara de combustão até a ordem de mm gera extinção de chama devido à perda de calor e aniquilação de radicais. Claramente, novas estratégias devem ser desenvolvidas.

Microreatores catalíticos têm sido desenvolvidos para diversas aplicações industriais. Recentemente, esta tecnologia vem sendo pesquisada em micropropulsores a  $\text{H}_2\text{O}_2$  e bipropelentes gasosos tais como  $\text{H}_2$  e  $\text{O}_2$ . Etanol tem sido considerado em sistemas de propulsão bipropelente, porém ainda pouco foi estudado em aplicações em micropropulsão.

Entende-se que a tecnologia de micropropulsores a etanol apresenta grau de maturidade atual (TRL) 3. Desta forma, experimentos investigativos acerca de questões fundamentais que envolvem o projeto destes propulsores são necessários. escoamento de mistura multifásica em meio poroso, reação catalítica e operação em condições predominantemente transientes são condições típicas. Modelos de simulação numérica serão desenvolvidos para corroborar dados experimentais e permitir o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de projeto de micropropulsores.

Para avançar no grau de maturidade tecnológica, os resultados obtidos dos estudos fundamentais serão utilizados para o desenvolvimento de protótipos de micropropulsores. Nesta fase ainda, questões tais como o projeto do bocal de aceleração de escoamento, a ignição da mistura, o empuxo produzido e estratégias de melhoramento de micropropulsores serão abordadas.

### **Metodologia a ser empregada (2000 caracteres)**

O presente projeto será dividido em duas fases. A primeira fase compreende tarefas de cunho investigativo acerca das principais barreiras tecnológicas a serem superadas do desenvolvimento de micropropulsores a etanol.

Será desenvolvido um experimento de combustão catalítica de etanol sob condições de laboratório dotado de injeção de reagentes, microreator, cromatografia gasosa e medição de temperaturas. O reator consiste em um tubo de quartzo preenchido com partículas catalíticas de Ni e Pt por apresentarem ótima atividade a decomposição e combustão de etanol. Etanol é injetado através de uma bomba de seringa programável. Oxidante é controlado por um medidor/controlador de vazão eletrônico. Para efeito de comparação, poderão ser testadas O<sub>2</sub>/etanol e N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Este reator terá também a função de evaporação do etanol e sua mistura com oxidante injetado. Medição da composição de fase gasosa via cromatografia é importante nesta fase inicial para ajustar os modelos de cinética química.

Modelos de mudança de fase, mistura e reação catalítica de ar e etanol será desenvolvido. Técnicas de modelagem/simulação incluem Lattice-Boltzmann para a zona de evaporação e mistura, modelos de escoamentos reativos simplificados, *e.g.*, reator de fluxo pistonado, e média volumétrica das equações de transporte, podendo incluir cinética química de fase catalítica e de fase gasosa.

Em uma segunda etapa do projeto, prevê-se o projeto de bocal convergente-divergente, a fabricação de micropropulsores e medição de empuxo em bancada experimental. Propulsores em escala milimétrica serão desenvolvidos e estudados. Usualmente, microreatores como os propostos podem ser agrupados formando um feixe com propriedades proporcionais as de um único elemento, permitindo obtenção de maior empuxo. Por outro lado, apesar de apresentar grandes dimensões em relação a propulsores de  $\mu\text{N}$  de empuxo, o conhecimento gerado neste projeto será de grande valia no desenvolvimento de novos e miniaturizados propulsores.

### **Infraestrutura disponível na instituição proponente para desenvolvimento do projeto (2000 caracteres)**

O projeto será realizado no Campus de Joinville da UFSC por pesquisadores vinculados ao curso de Engenharia Aeroespacial. Ainda, o projeto contará com a colaboração de pesquisadores da Universidade Federal do Paraná e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul nas áreas de propulsão espacial e de combustão em meios porosos, respectivamente.

Os principais equipamentos que serão utilizados na execução do projeto são listados abaixo. A infraestrutura disponível para a execução do projeto de pesquisa está localizada principalmente no Campus de Joinville da UFSC. Equipamentos de uso geral estão disponíveis em outros laboratórios e departamentos da UFSC no Campus de Florianópolis.

#### *Laboratório de combustão*

Forno com controle de temperatura. Testes de combustão catalítica. Joinville/UFSC

Bancada experimental. Testes de combustão catalítica. Joinville/UFSC

Capela para exaustão de gases. Testes de combustão catalítica. Joinville/UFSC.

#### *Laboratório de simulação numérica*

Workstation com 192GB de memória RAM, processador dual Xeon E5-2650 e duas placas GPU (Quadro 6000 e Tesla C2075), além de 10 computadores desktop. Simulação numérica. Joinville/UFSC.

#### *Outros laboratórios multiusuários*

Microscópios ópticos, microscopia eletrônica de varredura, estereoscópio, Difração de raios X (DRX), espectroscopia infravermelha (FTIR). Análise de superfícies. Florianópolis/UFSC.