



## PLANO DE TRABALHO

### **Desenvolvimento de códigos computacionais para simulação de escoamentos de fluidos magnéticos estratificados**

Aluno

Matrícula

### **Assinale os itens da Experiencia Acadêmica do aluno que constam do Lattes**

- PET
- Monitoria
- Tutorias
- Projetos de Extensão
- Projeto de Iniciação Científica concluído

### **1. Adequação do plano de trabalho ao nível de Iniciação Científica e ao projeto de pesquisa do(a) orientador(a)**

Este trabalho tem como objetivo a investigação numérica da convecção termomagnética, que consiste no escoamento induzido em um fluido magnético resultante da estratificação de suscetibilidade magnética devido a um gradiente de temperatura, quando sujeito a um campo magnético. De forma análoga, a convecção natural ocorre devido à estratificação de massa específica, promovida por um gradiente de temperatura, que devido à ação do campo gravitacional induz um escoamento. Comparativamente, a convecção termomagnética apresenta características de grande interesse, quando comparada à convecção natural, principalmente pela possibilidade de controlar tanto a intensidade e a orientação do campo externo, e portanto é capaz de promover melhores taxas de transferência de calor. Desta forma, a convecção termomagnética consiste em um problema extremamente rico, do ponto de vista teórico, e também com alta aplicabilidade, como no desenvolvimento de



**Universidade de Brasília**

**Decanato de Pós-Graduação**

Programa de Iniciação Científica – ProIC/UnB

trocadores de calor passivos, sem componentes móveis, com alta eficiência. Este problema está atualmente sendo investigado experimentalmente pelo professor orientador, de forma que a realização de um estudo numérico do problema em questão resultará em uma contribuição imprescindível para a consolidação de resultados experimentais e de formulações teóricas adotadas. O trabalho principal do aluno de IC seria a contribuição na elaboração de soluções computacionais envolvendo diferentes abordagens numéricas para a solução deste problema. Pretende-se estudar o uso de códigos abertos (OpenFOAM) além de códigos acadêmicos em desenvolvimento capazes de simular o escoamento de um fluido magnético em uma cavidade delgada. Nesse sentido, o trabalho proposto ao aluno encontra-se totalmente alinhado com as linhas de pesquisa do orientador, o tema possui relevância científica indiscutível e o nível do trabalho é perfeitamente adequado a um aluno de graduação.

## **2. Viabilidade de execução (recursos, infraestrutura e metodologia)**

Este trabalho será realizado essencialmente a partir de simulações computacionais. Nesse sentido, a infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa consiste basicamente em computadores. Os programas utilizados, em sua maioria, são programas de código aberto (Gnuplot, Kile, openFOAM, paraview). O sistema operacional utilizado é também gratuito (Linux – Ubuntu). Além disso, o aluno contará com o auxílio não só de seu orientador como também de outros colaboradores de pesquisa deste. Para esse trabalho em questão, teremos também reuniões periódicas com o Engenheiro e Mestre **Ciro Fraga Alegretti**, atual aluno de Doutorado do Professor **Rafael** pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Unicamp, onde o Prof. **Rafael** atua como professor visitante. O **Ciro** possui larga experiência no tema e está atualmente trabalhando em cima de uma bancada experimental, financiada pela FAPESP num projeto coordenado pelo proponente dessa proposta já finalizado e com prestação de contas já aprovada. Vale mencionar também que o Prof. **Rafael** é vinculado ao Grupo **Vortex**, um dos principais Grupos de Pesquisa do Departamento de Engenharia Mecânica. O Grupo conta com toda a infraestrutura necessária para a realização deste trabalho. É importante frisar também que o programa principal, responsável pela realização das simulações pode ser rodado em notebooks pessoais dos alunos, não sendo um programa pesado computacionalmente, que demande alta necessidade de poder computacional para viabilização desta pesquisa. A metodologia de pesquisa resumida, vinculada a este plano de trabalho consiste em: estudo bibliográfico, realização de reuniões por videoconferência com o orientador (Google Meets ou Zoom), instalação de programas de computador, treinamento nestes programas a partir de tarefas

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Edifício CDT - Térreo - AT 10/50, Brasília – DF CEP 70910-900

Telefones: (61) 3107.4180 - 3107.4181 – 3107.4182 – 3107-4183 e-mail: [pibicunb@gmail.com](mailto:pibicunb@gmail.com) <http://www.proic.unb.br/>



**Universidade de Brasília**

Decanato de Pós-Graduação

Programa de Iniciação Científica – ProIC/UnB

simples em níveis gradativos de dificuldades, execução de simulações numéricas, confecção de gráficos, implementação de termos-fonte nos solucionários do openFOAM (C++ ou Python, por meio de bibliotecas prontas), escrita de textos científicos para documentação dos resultados de pesquisa em Congressos Internacionais, preferencialmente realizados no Brasil (adequados ao nível de um bom aluno de IC).

### **3. Bibliografia básica do plano de trabalho**

Parte da bibliografia básica do plano de trabalho já consta no projeto de pesquisa submetido. Entretanto, acredito ser importante adicionar aqui alguns artigos mais específicos, vinculados a este plano de trabalho. Para fins de facilitar a organização do aluno com relação ao material que este deverá estudar, segue abaixo uma lista contendo a bibliografia básica necessária para a realização dos estudos pretendidos neste plano de trabalho.

[1] R. E. Rosensweig, 1985, Ferrohydrodynamics, Dover Publications Inc., New York (Edição de 1997).

[2] Cunha, Francisco Ricardo, H. L. G. Couto, and N. B. Marcelino. "A study on magnetic convection in a narrow rectangular cavity." *Magneto hydrodynamics* 43.4 (2007): 421-428.

[3] Ashouri, M., et al. "Correlation for Nusselt number in pure magnetic convection ferrofluid flow in a square cavity by a numerical investigation." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 322.22 (2010): 3607-3613.

[4] Bejan, Adrian. Convection heat transfer. John wiley & sons, 2013.

[5] Anderson, Dale, John C. Tannehill, and Richard H. Pletcher. Computational fluid mechanics and heat transfer. Taylor & Francis, 2016.

[6] Joubert, J. C., et al. "Enhancement in heat transfer of a ferrofluid in a differentially heated square cavity through the use of permanent magnets." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 443 (2017): 149-158.

[7] Alegretti, Ciro Fraga. "Uma nova perspectiva em Ferrohodinâmica: controle de descolamento de camada limite." (2017).

### **4. Justificativa elaborada pelo(a) orientador(a) acerca das competências e habilidades do aluno para desenvolver as atividades do plano de trabalho.**

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Edifício CDT - Térreo - AT 10/50, Brasília – DF CEP 70910-900

Telefones: (61) 3107.4180 - 3107.4181 – 3107.4182 – 3107-4183 e-mail: pibicunb@gmail.com <http://www.proic.unb.br/>



**Universidade de Brasília**

**Decanato de Pós-Graduação**

Programa de Iniciação Científica – ProIC/UnB

Qualquer aluno de IC vinculado aos temas de pesquisa do proponente deste plano de trabalho deve possuir facilidade no aprendizado de novas ferramentas computacionais, uma noção razoável de programação científica (no nível de um bom curso de Introdução à Ciência da Computação), ter tido um bom desempenho nas disciplinas básicas de Matemática (Cálculos) e Física (Física 1, 2 e 3) e especial interesse no processo de descoberta científica. Parte desses requisitos são subjetivos. Outra parte será avaliada conforme a execução do próprio trabalho. Mais do que boas notas em disciplinas pontuais (que na opinião deste docente medem muito pouco) espera-se que o aluno tenha grande paixão pelo processo de exploração de um problema multidisciplinar, de fronteira e bastante resiliência no processo de ter que aprender a lidar com seus próprios fracassos e limitações. No fundo, a atividade de Iniciação Científica possui também o objetivo pedagógico de estimular o aluno a superar suas próprias dificuldades através de um trabalho que certamente colocará grandes desafios a serem superados pelo aluno.

## 5. Cronograma de execução

Além das atividades específicas de cada mês, algumas atividades serão mantidas ao longo de todos os meses de execução desse projeto. Essas são:

1 - Realização de Estudos Dirigidos para treinamento do aluno (fichamentos de artigos, confecção de pequenos programas em Fortran, solução de exercícios vinculados aos temas do projeto); 2 - Realização de reuniões quinzenais entre os membros do Grupo de Pesquisa para discussão do progresso do aluno;

**Mês 1** – Estudo bibliográfico dos artigos e livros citados na bibliografia deste plano de trabalho; Instalação dos programas necessários para realização das atividades propostas nos itens subsequentes (Ubuntu, Kile, openFOAM, paraview);

**Mês 2** – Estudo dos métodos de discretização de equações governantes pelo Método dos Volumes Finitos para futura implementação de termos-fonte nas equações presentes no openFOAM; Elaboração de um manual de utilização do openFOAM;

**Mês 3** – Realização de simulações elementares, de forma que o aluno se ambiente com o funcionamento, estrutura de arquivos e processamento de dados na plataforma openFOAM/paraview; Elaboração de um manual de utilização do openFOAM;

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Edifício CDT - Térreo - AT 10/50, Brasília – DF CEP 70910-900

Telefones: (61) 3107.4180 - 3107.4181 – 3107.4182 – 3107-4183 e-mail: pibicunb@gmail.com <http://www.proic.unb.br/>



**Universidade de Brasília**

Decanato de Pós-Graduação

Programa de Iniciação Científica – ProIC/UnB

**Mês 4** – Desenvolvimento de uma malha computacional na geometria de uma expansão abrupta unidirecional (*backward-facing-step*); Elaboração de um manual de utilização do openFOAM;

**Mês 5** – Solução do escoamento laminar de um fluido Newtoniano sujeito a uma expansão abrupta; Elaboração de um manual de utilização do openFOAM;

**Mês 6** – Implementação de termos-fonte de origem magnética, realização de simulações na geometria da expansão abrupta unidirecional e validação de resultados e da metodologia de implementação adotada; Elaboração de um manual de utilização do openFOAM;

**Mês 7** – Utilizar bibliotecas disponíveis no openFOAM para o cálculo do campo magnético gerado por um ímã permanente para definições de condições de contorno; Elaboração de um manual de utilização do openFOAM;

**Mês 8** - Utilização do *solver* desenvolvido a partir das biblioteca do openFOAM para a realização de simulações de convecção termomagnética em cavidades delgadas; Elaboração de um manual de utilização do openFOAM;

**Mês 9** - Realização das simulações; Realização de reuniões quinzenais entre os membros do Grupo de Pesquisa para discussão do progresso do aluno e comparação com resultados experimentais; Elaboração de um manual de utilização do openFOAM;

**Mês 10** – Início do processo de organização dos resultados obtidos até essa etapa para fins de documentação destes no formato de um artigo científico para ser submetido a um Congresso Internacional realizado no Brasil (COBEM, ENCIT, CILAMCE, etc.); Elaboração de um manual de utilização do openFOAM;

**Mês 11** – Redação do artigo e do material para apresentação no Congresso do Pibic; Elaboração de um manual de utilização do openFOAM;

**Mês 12** – Apresentação dos resultados obtidos no Congresso de IC da UnB;