



PLANO DE TRABALHO

Análise do efeito de estratificação térmica na deflexão das linhas de campo magnético em ferrofluidos

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 do efeito da mudança de temperatura na deflexão de linhas de campo magnético no interior de um ferrofluido. Para essa finalidade, pretende-se desenvolver um código numérico autoral capaz de simular o comportamento de linhas de campo magnético geradas por sobreposição de ímãs permanentes em geometrias tridimensionais confinadas contendo um fluido magnético no seu interior. Das teorias eletromagnéticas sabe-se que campos magnéticos sofrem uma certa deflexão ao passar de um meio não magnético para o interior de um material magnético. Esse grau de deflexão deve ser função dos gradientes de susceptibilidade magnética, que por sua vez varia em função do campo aplicado e da temperatura do material. No contexto de um ferrofluido, sujeito a diferenças de temperatura, espera-se observar algum nível de deflexão dessas linhas de campo. Isso é particularmente importante no problema de convecção de calor no interior de fluidos magnéticos sujeitos à ação de um campo externo. Problema este, conhecido por convecção termomagnética. A maior parte dos trabalhos numéricos, relacionados à simulação computacional do problema acoplado de transferência de calor na ação de campos magnéticos em regimes de convecção, negligencia este efeito. Nesse sentido, espera-se com esse trabalho aumentar nosso entendimento a cerca do efeito da estratificação de susceptibilidade magnética na deflexão das linhas de campo para que no futuro possamos entender com essa alteração de direção de campo se relaciona com variações na cinemática do escoamento convectivo. Vale notar que o problema de convecção termomagnética consiste em um problema extremamente rico, do ponto de vista teórico, e também com alta aplicabilidade, como no desenvolvimento de 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 do problema. Nesse sentido, o trabalho



Universidade de Brasília

Decanato de Pós-Graduação
Programa de Iniciação Científica – ProIC/UnB

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, Spyder, Intel Fortran Compiler, Anaconda). 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. É importante frisar também que o Professor orientador possui servidor Linux próprio com poder computacional mais do que suficiente para a viabilização desta pesquisa e que este servidor estará à disposição do aluno. A metodologia de pesquisa resumida, vinculada a este plano de trabalho consiste em: estudo bibliográfico, realização de reuniões presenciais e por videoconferência com o orientador, instalação de programas de computador, treinamento nestes programas a partir de tarefas simples em níveis gradativos de dificuldades, execução de simulações numéricas, confecção de gráficos, elaboração de códigos de simulação (Fortran e/ou Python), 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



Universidade de Brasília

Decanato de Pós-Graduação

Programa de Iniciação Científica – ProIC/UnB

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).

[8] McCaig, M., Clegg, A. G., "Permanent Magnets in Theory and Practice", Wiley, 1987.

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

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

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

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 (ou Python), 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 das equações governantes do problema (equação de Poisson para o potencial magnético em regimes estratificados e modelo de magnetização de equilíbrio de Langevin);

Mês 3 – Realização de simulações elementares em códigos existentes desenvolvidos por outros membros do Grupo, de forma que o aluno se ambiente com o funcionamento, estrutura de arquivos e processamento de dados nas plataformas utilizadas;

Mês 4 e 5– Desenvolvimento de código próprio para a solução da equação de Poisson do potencial magnético numa geometria bidimensional para apenas 1 ímã e validação por comparação com as teorias apresentadas por McCaig e Clegg [8];

Mês 6 – Implementação de efeitos tridimensionais em cima do código desenvolvido nos meses 4 e 5;

Mês 7 – Implementação do efeito de sobreposição de múltiplos ímãs e combinações destes em diferentes faces da cavidade;

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 8 – Realização de simulações para campo lateral contendo 3 ímãs: varredura do efeito da distância do conjunto de ímãs em relação à lateral da cavidade e da variação da concentração volumétrica de partículas na deflexão das linhas de campo;

Mês 9 – Realização de simulações para outras configurações de campo (campo vertical e sobreposição de campos verticais e horizontais);

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.);

Mês 11 – Redação do artigo e do material para apresentação no Congresso do Pibic;

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