



## PLANO DE ENSINO

<b>Programa</b>	Ciências Mecânicas (53001010053P0)
<b>Nome</b>	Magnetohidrodinâmica
<b>Sigla</b>	PCMEC
<b>Número</b>	0086
<b>Créditos</b>	4
<b>Período de Vigência</b>	01/01/2019 - presente
<b>Professor responsável</b>	Francisco Ricardo Cunha
<b>Disciplina obrigatória</b>	Não. O curso será auto-suficiente, mas alguma familiaridade com Mecânica dos Fluidos seria vantajoso para o discente.

## EMENTA

### Objetivos:

O objetivo da disciplina magnetohidrodinâmica (MHD) é contribuir para a formação de discentes do programa de Ciências Mecânicas em temas interdisciplinares avançados além de incrementar o processo de disseminação de novos conhecimentos associados à tecnologias de ponta e de grande abrangência no atual contexto da engenharia e ciências mecânicas. Em adição, a disciplina busca ainda prover bases complementares em tópicos avançados da mecânica dos fluidos, visando principalmente aqueles alunos que porventura decidirem desenvolver dissertação ou tese no tema em tela. A disciplina trata do estudo da interação entre um campo magnético e um fluido eletricamente condutor (não polar) em movimento. Existe um largo espectro de aplicações de MHD em engenharia e ciências mecânicas. A saber: lubrificação de sistema eixo-mancal de peças móveis, processos de aquecimento e bombeamento de fluidos eletricamente condutores, processos de misturas e levitação de metais líquidos. Os escoamentos MHD envolvem fluidos como metais líquidos, soluções salinas e gases ionizados aquecidos. Com esta meta torna-se necessário se estabelecer os princípios fundamentais envolvidos no acoplamento entre as equações de Maxwell do eletromagnetismo e as equações hidrodinâmicas que regem o movimento de fluidos eletricamente condutores (equação de Navier-Stokes modificada).

### Justificativa:

A oferta da disciplina Magnetohidrodinâmica no contexto em que é tratada pode ser considerada um incremento essencial para a formação de discentes de pós-graduação em Ciências Mecânica desde que trata dos fundamentos envolvidos na formulação das equações acopladas da hidrodinâmica (equação de Cauchy/Navier Stokes) e eletromagnetismo (equações de Maxwell). Com mais esse ingrediente espera-se o aluno ser capaz de resolver problemas de escoamentos laminares de fluidos Newtonianos eletricamente condutores com ênfase em regimes de lubrificação, camada limite, difusão e advecção magnética, convecção

---

natural de um fluido eletricamente condutor, além do estudo de propagação de ondas eletromagnéticas em meio incompressível e compressível (ondas de Alfvén e ondas magneto-acústicas). As aulas teóricas serão expositivas e compostas dos seguintes tópicos gerais: breve histórico de magnetohidrodinâmica e aplicações: visão qualitativa da matéria; Forças e campos hidrodinâmicos e eletromagnéticos; Teoremas do eletromagnetismo; Leis de conservação do eletromagnetismo; Equações hidrodinâmicas; Equações governante de Maxwell e Navier-Stokes para o contexto de Magnetohidrodinâmica (MHD); Aproximação de escoamentos MHD para baixos números de Reynolds magnéticos.

---

#### Conteúdo:

**Módulo 1:** Breve histórico da magnetohidrodinâmica e suas aplicações: visão qualitativa da matéria; **Módulo 2:** Forças e campos hidrodinâmicos e eletromagnéticos; **Módulo 3:** Teoremas do eletromagnetismo; **Módulo 4:** Leis de conservação do eletromagnetismo: Equação da continuidade, lei de Ampere, lei de Ohm e lei de Biot-Savart, teorema de Poynting, equações de Maxwell, condições de contorno, força de campo eletromagnética (força de Lorentz), tensor de tensões de Maxwell, lei de Faraday e vetor potencial, deslocamento de corrente, ondas eletromagnéticas e ondas de Alfvén; **Módulo 5:** Equações Hidrodinâmicas, Equação de Cauchy e equação de Navier-Stokes, Vorticidade, helicidade hidrodinâmica, momento angular, Lei de Biot-Savart - inversão da vorticidade-velocidade, Equação geral da dinâmica de vorticidade e taxa de deformação de linhas de vórtices; **Módulo 6:** Equações governantes de Maxwell e Navier-Stokes para Magnetohidrodinâmica (MHD), parâmetros adimensionais em MHD, MHD incompressível - uma analogia entre vorticidade e indução magnética, difusão e advecção de um campo magnético, Teorema de Alfvén para condutores ideais, Invariância da helicidade magnética em MHD ideal; **Módulo 7:** Aproximação de escoamentos MHD para baixos números de Reynolds magnéticos, formulação MHD compressível, modelo de manchas solares, escoamento unidirecionais de fluidos condutores em regime de lubrificação, camada limite MHD (Hartmann), escoamentos em dutos e convecção natural de fluido eletricamente condutor em campos magnéticos.

---

#### Forma de Avaliação

Estudos dirigidos (40% da nota final); Listas de exercícios (30% da nota final); Seminário proferido pelo discente baseado em artigo científico publicado em periódicos cujo tema será correlacionado aos tópicos tratados na disciplina (30% da nota final). As listas de exercícios serão entregues ao longo do semestre. O material didático/pedagógico da disciplina será disponibilizado para os discentes ao longo do semestre na forma digitalizada viao link: <http://www.vortex.unb.br/>.

Serão atribuídas menções aos estudantes com base nas notas finais obtivas, de acordo com o critério de menções da UnB. Casos omissos serão resolvidos pelos professores da disciplina.

---

#### Observação:

Quase todo o conteúdo da disciplina pode ser encontrado nas referências bibliográficas a seguir. Todas as informações necessárias serão tratadas nas aulas.

---

---

**Bibliografia:**

**1)** Introduction to Magnetohydrodynamics, P.A. Davidson, CUP-Cambridge, UK, 2017; **2)** Introduction to Eletrodynamics, D.J. Griffiths, CUP-Cambridge, UK., 2017; **3)** Electrodynamics of continuous media, L.D. Landau and E.M. Lifshitz, Pergamon Press – Oxford, UK, 1987; **4)** Introduction to Fluid Dynamics, G.K. Batchelor, CUP-Cambridge, UK, 1967; **5)** Fluid Dynamics, R.H.F. Pao, (1966), C. E. Merrill, Inc, Columbus, Ohio, 1966; **6)** Moffat, H.K. Magnetic field generation in electrically conducting fluids, CUP, Cambridge, 1978.

---



### Unit information

<b>Program</b>	Mechanical Science (53001010053P0)
<b>Course unit</b>	Magnetohydrodynamics
<b>Unit code</b>	PCMEC
<b>Unit number</b>	0086
<b>Credit points</b>	4
<b>Period</b>	01/01/2004 - Current
<b>Professor</b>	Francisco Ricardo da Cunha
<b>Prerequisites</b>	No, but familiarity with both Fluid Mechanics and Electrodynamics will be an advantage.

### Unit outline

**Objective:**

The aim of the magnetohydrodynamics (MHD) course is to contribute to the training of students of the Mechanical Sciences program in advanced interdisciplinary topics, in addition to increasing the process of disseminating new knowledge associated with cutting-edge and wide-ranging technologies in the current context of engineering and mechanical sciences. In addition, the course also seeks to provide complementary bases in advanced topics of fluid mechanics, mainly aimed at those students who may decide to develop a dissertation or thesis on the subject at hand. The course deals with the study of the interaction between a magnetic field and an electrically conductive (non-polar) fluid in motion. There is a wide spectrum of MHD applications in engineering and mechanical sciences. Namely: shaft-bearing system lubrication of moving parts, heating processes and pumping electrically conductive fluids, mixing processes and levitation of liquid metals. MHD flows involve fluids such as liquid metals, saline solutions, and heated ionized gases. With this goal in mind, it becomes necessary to establish the fundamental principles involved in the coupling between Maxwell's equations of electromagnetism and the hydrodynamic equations that govern the motion of electrically conducting fluids (modified Navier-Stokes equation).

**Purpose:**

The offer of the Magnetohydrodynamics course in the context in which will be treated can be considered an essential increment for the formation of graduate students in Mechanical Sciences since it deals with the fundamentals involved in the formulation of coupled equations of hydrodynamics (Cauchy/Navier Stokes equation) and electromagnetism (Maxwell equations). With this added ingredient, the student is expected to be able to solve problems of laminar flows of electrically conductive Newtonian fluids with emphasis on lubrication regimes, boundary layer, diffusion and magnetic advection, natural convection of electrically conductive fluids. Additionally a study of electromagnetic waves in incompressible and compressible media (Alfvén waves and magneto-acoustic waves) will be explored in this course. The theoretical lectures will be expository and composed of the following general topics: brief history of magnetohydrodynamics and applications: qualitative view of the matter; Hydrodynamic and electromagnetic forces and fields; Electromagnetism theorems; Balance laws of electromagnetism; Hydrodynamic equations; Maxwell and Navier-Stokes governing equations for the context of Magnetohydrodynamics (MHD); Approximation of MHD flows for low magnetic Reynolds numbers.

<b>Contents:</b>	<p><b>Module 1:</b> Brief history of magnetohydrodynamics and its applications: qualitative view of the matter; <b>Module 2:</b> Hydrodynamic and electromagnetic forces and fields; <b>Module 3:</b> Theorems of electromagnetism; <b>Module 4:</b> Laws of conservation of electromagnetism: Equation of continuity, Ampere's law, Ohm's law and Biot-Savart's law, Poynting's theorem, Maxwell's equations, boundary conditions, electromagnetic force (Lorentz force), Maxwell's stress tensor, Faraday's law and potential vector, current displacement, electromagnetic waves and Alfvén waves; <b>Module 5:</b> Hydrodynamic Equations, Cauchy equation and Navier-Stokes equation, vorticity, hydrodynamic helicity, angular momentum, Biot-Savart law and vorticity-velocity inversion, general equation of vorticity dynamics and deformation rate of vortex lines (stretching); <b>Module 6:</b> Maxwell and Navier-Stokes governing equations for Magnetohydrodynamics (MHD), dimensionless parameters in MHD, incompressible MHD - an analogy between vorticity and magnetic induction, diffusion and advection of a magnetic field, Alfvén's Theorem for ideal conductors, Invariance of magnetic helicity in ideal MHD; <b>Module 7:</b> Approximation of MHD flows for low magnetic Reynolds numbers, compressible MHD formulation, sunspot model, unidirectional flows of conductive fluids in lubrication regime, MHD boundary layer (Hartmann), flows in ducts and natural convection of electrically conductive fluid in magnetic fields.</p>
------------------	---

<b>Assessment</b>	<p>Self-student exercises (40% of the final grade); Exercise lists (30% of the final grade), a Student seminar (30% of the final grade) based on a scientific paper related to the covered topics on magnetohydrodynamics and its applications. Exercise lists will be delivered during the course. The course's didactic/pedagogical material will be made available to students throughout the semester in digital form via the link: <a href="http://www.vortex.unb.br/">http://www.vortex.unb.br/</a>.</p>
-------------------	--

<b>Obs:</b>	<p>All necessary information will be provided in lectures. For reference consult:</p>
-------------	---

<b>Reference:</b>	<p><b>1)</b> Introduction to Magnetohydrodynamics, P.A. Davidson, CUP-Cambridge, UK, 2017; <b>2)</b> Introduction to Eletrodynamics, D.J. Griffiths, CUP-Cambridge, UK., 2017; <b>3)</b> Electrodynamics of continuous media, L.D. Landau and E.M. Lifshitz, Pergamon Press – Oxford, UK, 1987; <b>4)</b> Introduction to Fluid Dynamics, G.K. Batchelor, CUP-Cambridge, UK, 1967; <b>5)</b> Fluid Dynamics, R.H.F. Pao, (1966), C. E. Merrill, Inc, Columbus, Ohio, 1966; <b>6)</b> Moffat, H.K. Magnetic field generation in electrically conducting fluids, CUP, Cambridge, 1978.</p>
-------------------	--