

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



Plano de Ensino

DISCIPLINA: Teoria Eletromagnética	CÓDIGO: PPGEL0066
DOCENTE RESPONSÁVEL: Marco Aurélio de Oliveira Schroeder	

Validade: Período Letivo Correspondente

Carga Horária: 60 horas-aula

Créditos: 04

Área de Concentração/Módulo: Sistemas Elétricos/Formação Básica

Linha de Pesquisa: Eletromagnetismo Aplicado

EMENTA

Análise Vetorial. Equações de Maxwell no Domínio do Tempo: Forma Diferencial e Forma Integral. Propriedades Macroscópicas da matéria: parâmetros e relações constitutivas. Condições de fronteira/interface: meio de condutividade finita, meio de condutividade infinita e fontes ao longo da fronteira. Potência e Energia - Teorema de Poynting. Equações de Maxwell no Domínio da Frequência/Fasorial: Formas Diferenciais e Integrais; Condições de Fronteira; Potência e Energia. Casos Particulares: Eletrostática e Magnetostática; Teoria de Circuitos Elétricos; Propagação de Ondas Eletromagnéticas Guiadas e Irradiadas. Princípios de Irradiação - potenciais eletromagnéticos.

OBJETIVOS

Desenvolver e aplicar os conceitos fundamentais do Eletromagnetismo e, desta forma, estabelecer a base necessária para desenvolvimento de projetos e modelagens nas diversas áreas da Engenharia Elétrica, tais como: Materiais, Máquinas e Conversão da Energia, Sistemas Elétricos de Potência, Sistemas Elétricos Industriais e Telecomunicações.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



Plano de Ensino

INTERDISCIPLINARIDADES: INTER-RELAÇÕES DESEJÁVEIS

É desejável que os conteúdos abordados na disciplina *Teoria Eletromagnética* tenham relações diretas, principalmente, com as seguintes disciplinas e linhas de pesquisa:

- **Disciplinas:** Métodos Numéricos, Modelagem de Sistemas Eletromagnéticos, Planejamento de Sistemas de Potência, Sinais e Sistemas, Teoria e Projeto de Sistemas Lineares, Transitórios Eletromagnéticos em Altas Frequências e Transitórios Eletromagnéticos para Baixas Frequências;

- **Linhas de Pesquisa:** Eletromagnetismo Aplicado e Planejamento e Operação de Sistemas Elétricos de Potência (área de concentração: Sistemas Elétricos); Análise e Modelagem de Sistemas (área de concentração: Modelagem e Controle de Sistemas).

Unidades de ensino		Carga-horária Horas-aula
1	Análise Vetorial:	4
✓	Parte I – Álgebra Vetorial <ul style="list-style-type: none">• Grandezas Físicas escalares e vetoriais.• Campos escalares e vetoriais.• Vetor unitário (versor).• Soma e subtração de vetores.• Vetores posição e distância.• Multiplicação vetorial: produtos escalar, vetorial e misto.• Componentes de um vetor.	1
✓	Parte II – Sistemas e Transformação de Coordenadas <ul style="list-style-type: none">• Coordenadas cartesianas, cilíndricas circulares e esféricas.• Transformação de pontos e vetores.• Superfícies de coordenada constante.	1
✓	Parte III – Cálculo Vetorial <ul style="list-style-type: none">• Comprimento, área e volume diferenciais.• Integrais de linha, de superfície e de volume.• Gradiente de um campo escalar.• Divergência de um campo vetorial e Teorema de Gauss (da divergência).• Rotacional de um campo vetorial e Teorema de Stokes.• Laplaciano de campos escalar e vetorial.• Classificação de campos vetoriais.	2

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



Plano de Ensino

2	Campos Eletromagnéticos Estáticos:	16
	✓ Parte I – Eletrostática <ul style="list-style-type: none">Definição, motivação e aplicações.Lei de Coulomb e intensidade de campo elétrico.Campos elétricos de distribuições contínuas de carga.Densidade de fluxo elétrico, fluxo elétrico e Lei de Gauss.Potencial elétrico, diferença de potencial e campo elétrico.Dipolo elétrico e linhas de fluxo elétrico.Densidade de energia em campos eletrostáticos.	4
	✓ Parte II – Campos Elétricos em Meios Materiais <ul style="list-style-type: none">Definição, motivação e aplicações.Propriedades dos materiais elétricos.Correntes de condução e de convecção.Condutores e dielétricos.Constante dielétrica e rigidez dielétrica.Meios homogêneos, lineares e isotrópicos.Equação da continuidade e tempo de relaxação.Condições de fronteira para campos elétricos.	4
	✓ Parte III – Problemas de Valor de Fronteira em Eletrostática <ul style="list-style-type: none">Definição, motivação e aplicações.Equações de Laplace e de Poisson e suas soluções.Teorema da ReciprocidadeCálculos de resistência e capacitância.Método das Imagens.	4
	✓ Parte IV – Magnetostática e Materiais Magnéticos <ul style="list-style-type: none">Definição, motivação e aplicações.Intensidade de campo magnético e Lei de Biot-Savart.Lei de Ampère.Densidade de fluxo magnético e fluxo magnético.Potenciais magnéticos escalar e vetorial.Forças magnéticas e densidade de fluxo magnético.Torque, momento e dipolo magnéticos.Magnetização e classificação de materiais magnéticos.Condições de fronteira para campos magnéticos.Indutores, indutância e energia magnética.	4
3	Campos Eletromagnéticos Variáveis no Tempo:	20

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



Plano de Ensino

	<p>✓ Parte I – Indução Magnética</p> <ul style="list-style-type: none">• Definição, motivação e aplicações.• Leis de Lenz e de Faraday.• Forças eletromotrizes induzidas de transformador e de movimento.• Diferença de potencial e tensão induzida.• Princípios de transformadores e máquinas elétricas rotativas.	6
	<p>✓ Parte II – Equações de Maxwell no Domínio do Tempo</p> <ul style="list-style-type: none">• Definição, motivação e aplicações.• Formas diferencial e integral.• Corrente de deslocamento e densidade de corrente de deslocamento.• Potenciais eletromagnéticos variáveis no tempo.• Potência e Vetor de Poynting – conservação de energia.	7
	<p>✓ Parte III – Equações de Maxwell no Domínio da Frequência (Fasorial)</p> <ul style="list-style-type: none">• Definição, motivação e aplicações.• Campos eletromagnéticos harmônicos no tempo.• Formas diferencial e integral.• Tangente de perdas.• Classificação geral de condutores e dielétricos.• Potência e Vetor de Poynting – conservação de energia.	7
4	Ondas Eletromagnéticas Guiadas e Irradiadas:	20
	<p>✓ Parte I – Linhas de Transmissão</p> <ul style="list-style-type: none">• Definição, motivação e aplicações.• Tipos de linhas de transmissão.• Ondas eletromagnéticas Transverso-Eletromagnéticas (TEM) em linhas de transmissão sem perdas.• Análise de linhas de transmissão sem perdas nos domínios do tempo e da frequência.• Linhas de transmissão com perdas.• Parâmetros por unidade de comprimento e efeito pelicular.• Transitórios em linhas de transmissão – reflexão, transmissão, casamento de impedância.	6

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



Plano de Ensino

✓ Parte II – Propagação de Ondas Planas <ul style="list-style-type: none">• Definição, motivação e aplicações.• Equação de onda.• Onda plana em meios sem (uniforme) e com perdas (não-uniforme).• Fluxo de potência em ondas planas uniformes.• Efeito pelicular.• Polarização de ondas planas uniformes.• Velocidade de grupo.• Incidências normal e oblíqua de ondas planas uniformes em superfícies planas – meios sem e com perdas, Leis de Snell, coeficientes de reflexão e de refração de Fresnel, ângulos críticos (reflexão total) e de Brewster (transmissão total).	7
✓ Parte III – Princípios de Radiação <ul style="list-style-type: none">• Definição, motivação e aplicações.• Dipolos de Hertz (elétrico) e magnético (<i>loop</i>).• Regiões de campos próximo, intermediário e distante.• Vetores de Poynting nas regiões de campo.• Dipolo de meia onda.• Antena monopolo de um quarto de onda.	7
TOTAL	60

METODOLOGIA

DISPONIBILIZAÇÃO E ENTREGA DE MATERIAIS:

Será adotado o *Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas* (SIGAA) da UFSJ para entrega dos materiais e listas de exercícios.

DIVISÃO DE HORAS:

A disciplina será realizada de forma híbrida com base na RESOLUÇÃO Nº 014, DE 25 DE MAIO DE 2022 do CONEP/UFSJ:

- Atividades Presenciais:
 - ✓ Dedicadas às atividades avaliativas: 3 provas.
 - ✓ Total de Horas: 12 horas/aula (3 semanas com 1 aula de 4 horas cada, sendo 1 aula de encontro presencial para realização de 3 provas);
 - ✓ Local: Sala 3.16 – EL (sala de defesas do PPGEL), Prédio do

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



Plano de Ensino

Departamento de Engenharia Elétrica (DEPEL), Campus Santo Antônio, Universidade Federal de São João del-Rei;

- ✓ O calendário será informado no início do semestre com base no calendário da instituição e obrigatoriamente no dia e hora de aula informado pelo PPGEL/UFSJ.

- Atividades Remotas:
 - ✓ Total de Horas: 44 horas (11 semanas);
 - ✓ Síncronas: 36 horas de encontros síncronos ministrados pelo docente (4 horas/aula nas semanas em que não ocorrer as atividades presenciais);
 - ✓ Assíncronas: 08 horas para os alunos se prepararem para os encontros síncronos (4 horas nas semanas em que não ocorrer as atividades presenciais, principalmente para dúvidas associadas às listas de exercícios que compõem a disciplina);
 - ✓ O professor vai disponibilizar um material didático e os alunos deverão se preparar para os encontros síncronos;
 - ✓ Atividades síncronas na plataforma RNP ou *Google Meet*;
 - ✓ Endereço: a ser disponibilizado pelo professor na 1ª semana de aula.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

ATIVIDADES AVALIATIVAS

- Listas de exercícios, trabalhos computacionais e provas:
 - Listas de exercícios (individual) - valor: 3,0 pontos.
 - Provas (individual) - valor total: 7,0 pontos, sendo as seguintes 3 provas:
 - P1 – Eletrodinâmica (3,0 pontos);
 - P2 – Quase Estática (2,0 pontos);
 - P3 – Eletrostática e Magnetostática (2,0 pontos).
- Para ser aprovado, as seguintes 2 condições devem ser satisfeitas simultaneamente:
 - A média final deve ser maior ou igual a 6,0 pontos;
 - O aluno deve ter 75% de presença (mínimo de 12 presenças no curso de 15 dias de atividades).

PRESENÇA:

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



Plano de Ensino

- É obrigatória a presença nos encontros presenciais e síncronos (usados para quantificar a presença nas atividades remotas).
- O uso de câmera e áudio é obrigatório nos encontros síncronos por parte dos discentes (conforme Artigo 10, Inciso V, da resolução que regulamenta essa disciplina).

OBSERVAÇÕES FINAIS

1. Faltas não são abonadas (somente casos previstos na jurisdição);
2. Não serão aplicadas atividades substitutivas.

Atividades de segunda chamada devem ser tratadas na coordenadoria que comunicará ao docente. A aplicação de segunda chamada está condicionada a justificativas previstas na jurisdição.

Bibliografia Básica

- 1 – D. J. Griffiths. Introduction to Electrodynamics. 4th Edition, PHI Learning, Delhi 2013.
- 2 – A. C. Balanis. **Advanced Engineering Electromagnetics**. John Wiley & Sons, New York, 2nd Edition, 2012.
- 3 – J. D. Jackson. **Classical Electrodynamics**. John Wiley and Sons, Inc., 3rd Edition, 1999.
- 4 – J. A. Stratton. **Electromagnetic Theory**. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York and London, 1941.

Bibliografia Complementar

- 1 – E. C. Jordan, K. G. BALMAIN. **Electromagnetic Waves and Radiating Systems**. Prentice-Hall, Inc., 1968.
- 2 – J. D. Kraus, K. R. Carver. **Eletromagnetismo**. Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, Brasil, 1978.
- 3 – C. R. Paul. **Electromagnetics for Engineers, EMAG Solutions Companion: With Applications to Digital Systems and Electromagnetic Interference**. John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- 4 – R. E. Plonsey, R. E. Collin. **Principles and Applications of Electromagnetic Fields**. McGraw-Hill, 1976.
- 5 – Z. D. Popovic, B. D. Popovic. **Introductory Electromagnetics**. Prentice Hall, New Jersey, 1999.
- 6 – C. R. Paul, K. W. Whites, S. A. Nasar. **Introduction to Electromagnetic Fields**. 3rd edition, WCB McGraw-Hill, 1998.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



Plano de Ensino

- 7 – D. K. Cheng. **Field and Wave Electromagnetics**. 2nd edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- 8 – William H. Hayt Jr. e John A. Buck. **Eletromagnetismo**. 8a. Edição, Porto Alegre AMGH Editora Ltda, 2012.
- 9 – M. N. O. Sadiku. **Elementos de Eletromagnetismo**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

Assinaturas	
<p>Prof. Marco Aurélio de Oliveira Schroeder Departamento de Engenharia Elétrica Universidade Federal de São João del-Rei Data: 22/12/2023</p>	<p>Prof. Marco Aurélio de Oliveira Schroeder Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica UFSJ/CEFET-MG Data: 22/12/2023</p>