



Ministério da Educação  
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
 Setor de Tecnologia  
 Departamento de Engenharia Elétrica

**Ficha 2 (Período Especial – Resolução No. 59/2020-CEPE)**

Disciplina: <b>Ondas Eletromagnéticas</b>								Código: <b>TE338</b>	
Natureza: Obrigatória			Semestral						
Pré-requisito: Não há			Co-requisito: não há			Modalidade: EaD (100%)			
<b>CH Total: 60</b> <b>CH semanal:</b> <b>04</b>	Padrão (PD): 60/04	Laboratório (LB): 0	Campo (CP): 0	Estágio (ES): 0	Orientada (OR): 0	Prática Específica (PE): 0	Estágio de Formação Pedagógica (EFP): 0		
<b>EMENTA (Unidade Didática)</b>									
Campo eletromagnético, Equações de Maxwell, Onda plana uniforme, Guias de onda, Potenciais Eletromagnéticos, Dipolo eletromagnético, Antenas									
<b>PROGRAMA (itens de cada unidade didática)</b>									
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresentação da disciplina e da ementa.</li> <li>2. Números Complexos e Cálculo Vetorial: Teoremas e Identidades Importantes.</li> <li>3. Campos Ondulatórios: A equação de ondas, definições básicas de ondulatória</li> <li>4. Indução Eletromagnética e a Lei de Faraday Lenz</li> <li>5. Corrente de Deslocamento e a Lei de Ampère-Maxwell</li> <li>6. Equações de Maxwell: forma diferencial e integral</li> <li>7. Leis de Conservação e o Vetor de Poynting</li> <li>8. Equações de Maxwell em Regime Harmônico</li> <li>9. Dedução da equação de ondas eletromagnéticas a partir das Equações de Maxwell</li> <li>10. Onda plana uniforme e as equações de Maxwell para ondas planas uniformes</li> <li>11. Ondas Planas em Meios Materiais: Meios Dielétricos, Meios Condutores, Efeito Pelicular</li> <li>12. Polarização de Ondas: Linear e Circular</li> <li>13. Interfaces Planas: lei de Snell, refração e reflexão, ângulo de Brewster</li> <li>14. OEM em linhas de transmissão. Equações do Telegrafista. Propagação sem perdas.</li> <li>15. Guia de onda: Noções Gerais, Modo transversal magnético (TM) e Modo transversal elétrico (TE).</li> <li>16. Potenciais eletromagnéticos – potencial escalar, vetorial e transformações de calibre.</li> <li>17. Radiação Eletromagnética e Antenas</li> <li>18. Potenciais e campo eletromagnéticos de um dipolo elétrico.</li> <li>19. Campo próximo e campo distante.</li> <li>20. Potência radiada e resistência de radiação.</li> <li>21. Características básicas de Antenas: Diretividade, Eficiência de Radiação e Ganho da antena.</li> <li>22. Abertura efetiva das antenas. Equação de Friis para enlace sem fio.</li> </ol>									
<b>OBJETIVO GERAL</b>									
Familiarizar o estudante com os conceitos fundamentais das Equações de Maxwell para Campos Eletromagnéticos Variantes no tempo e das Ondas Eletromagnéticas. O estudante deverá ser capaz de compreender as Equações de Maxwell e a teoria das Ondas Eletromagnéticas e ser capaz de estabelecer correlações entre teoria e problemas contextualizados. tendo uma visão ampla dos conceitos inerentes à propagação de ondas eletromagnéticas em meios materiais, antenas e guias de onda.									

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar as Equações de Maxwell no regime variante no tempo e o seu significado físico;
- Apresentar Leis de Conservação de Carga e o Teorema de Poynting;
- Abordar conceitos fundamentais relacionados às ondas eletromagnéticas e a sua importância para a Engenharia
- Discutir o limite de validade da teoria de circuitos elétricos
- Aplicar a teoria eletromagnética em problemas de antenas e guias de onda.
- Transitar por diferentes formas de representação matemática com reconhecimento das variáveis associadas.
- Possuir discernimento quanto ao melhor método de solução de questões e problemas contextualizados.
- Determinar com clareza as variáveis e parâmetros relacionados ao eletromagnetismo.

## PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS

A disciplina será desenvolvida por meio de aulas semanais, assíncronas, gravadas e disponibilizadas através do YouTube semanalmente, para os participantes regularmente matriculados na disciplina. O participante terá a opção de assistir a aula a qualquer momento que tenha disponibilidade. Cada aula terá associada uma tarefa a ser respondida pelo participante de forma individual e cujo prazo de envio ao professor responsável será de uma semana. O *Ambiente Virtual de Aprendizagem* (AVA) será a plataforma Microsoft® TEAMS, disponível gratuitamente para todos os estudantes com registro ativo na UFPR, para as reuniões em tempo real. As aulas gravadas serão disponibilizadas através do YouTube, cujos links serão disponibilizados semanalmente na página da disciplina ([www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE338.htm](http://www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE338.htm)). Serão cadastrados no grupo “Ondas Eletromagnéticas – TE338” da plataforma Microsoft® TEAMS unicamente os alunos com matrícula regularmente realizada na disciplina TE338 através da Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica, no Período Especial previsto na Resolução Nº 59/2020-CEPE. O professor responsável pela disciplina atuará como tutor. Espera-se haver também o apoio de um estudante monitor, também atuando em regime remoto. A tutoria (de participação não obrigatória) será realizada na forma de uma Reunião Virtual Semanal, na plataforma Microsoft® TEAMS, às segundas-feiras com início às 19 horas ou em outro horário a combinar com os discentes matriculados. Os participantes serão orientados a enviar suas dúvidas antecipadamente por escrito para o professor através de canal de e-mail institucional da UFPR, a ser divulgado, sendo a resposta do professor-tutor preferencialmente realizada na Reunião Virtual Semanal.

### Material didático:

As aulas serão gravadas a partir de apresentações já existentes da disciplina ofertada na forma presencial, de autoria do próprio docente. O material original sofreu adaptações para o Ensino à Distância. O material didático (Slides das Aulas em Formato PDF, Livro texto da disciplina e Listas de Exercícios) estão disponíveis no site da disciplina ([www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE338.htm](http://www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE338.htm)).

### Requisitos digitais:

Para participar das atividades da disciplina o estudante deverá ter acesso a computador, *notebook* ou *desktop*, ou ainda a *tablet*, com acesso à Internet em banda larga. Não é necessária aquisição ou instalação de nenhum *software* em especial, uma vez que todos alunos da UFPR tem acesso gratuito ao pacote *Microsoft® Office para Web*. Recomenda-se que a participação na Reunião Virtual Semanal seja feita com o uso de computador, mas pode ser feita – caso necessário – através de *smartphone* onde seja instalado previamente o aplicativo Microsoft® TEAMS, disponível gratuitamente para as plataformas Android e iOS.

Para o cadastramento dos participantes na plataforma Microsoft® TEAMS e obter acesso gratuito ao pacote *Microsoft® Office para Web* é obrigatório ao aluno ter um **e-mail institucional da UFPR**, na forma [seunome@ufpr.br](mailto:seunome@ufpr.br). Os alunos que porventura não tiverem ainda seu e-mail institucional devem obtê-lo gratuitamente acessando ao serviço da AGETIC (Agência de Tecnologia da Informação e Comunicação) da UFPR pelo *link*: <https://intranet.ufpr.br/intranet/public/solicitacaoEmailInputFormCPF.action>

Estudantes que fazem parte dos programas de assistência estudantil da UFPR e estudantes com comprovação de vulnerabilidade socioeconômica e falta de acesso digital devem buscar auxílio em editais específicos coordenados pela Pró-reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE) da UFPR.

### Controle de frequência das atividades:

Conforme res. 59/20-CEPE, fica estabelecido o controle de frequência somente por meio da realização, de forma assíncrona, de trabalhos e exercícios domiciliares desenvolvidos pelas/pelos estudantes..

## FORMAS DE AVALIAÇÃO

- Estão previstas 8 (oito) atividades, cada uma delas recebendo uma nota ( $n_i$ ) de 0 (zero) a 100 (cem), conforme segue:

Atividade 1: Vetores e Números Complexos

Atividade 2: Equação de Ondas/Efeito Doppler

Atividade 3: Linhas de Transmissão Parte 1  
Atividade 4: Linhas de Transmissão Parte 2  
Atividade 5: Equações de Maxwell/Leis de Conservação/ Eq. de Ondas Eletromagnéticas  
Atividade 6: Ondas Planas Uniformes/ Superposição de Ondas/Ondas EM em meios materiais  
Atividade 7: Potenciais Eletromagnéticos, Radiação e Antenas/ Fórmula de Friis  
Atividade 8: Guias de Ondas/Decomposição Transverso-Longitudinal/Modos TE e TM

- Atividades postadas fora do prazo são penalizadas com a perda de 30% da nota.
- A **Média Parcial** ( $m_{parcial}$ ) será calculada pela média das notas obtidas nas atividades, através de:

$$m_{parcial} = \frac{\sum_{i=1...8} n_i}{8}$$

- A partir do cálculo da **Média Parcial** ( $m_{parcial}$ ), tem-se os participantes **Aprovados por média** no caso de  $m_{parcial} \geq 70$  e a **Média Final** ( $m_{final}$ ) terá o mesmo valor da **Média Parcial** ( $m_{parcial}$ ).
- Os participantes cuja **Média Parcial** ( $m_{parcial}$ ) seja inferior a 70 porém igual ou superior a 40 ( $40 \geq m_{parcial} \geq 70$ ) será dada a oportunidade da redação de um Trabalho Extra, com tema a ser definido, ao qual será atribuída uma nota ( $t_{extra}$ ) entre zero e 100. Neste caso a **Média Final** ( $m_{final}$ ) será obtida através de:

$$m_{final} = \frac{m_{parcial} + t_{extra}}{2}$$

- Participantes cuja **Média Parcial** ( $m_{parcial}$ ) for inferior a 40 serão considerados REPROVADOS, sem direito ao Trabalho Extra.

**A frequência mínima para aprovação deve ser maior ou igual a 75%**

#### **BIBLIOGRAFIA BÁSICA (mínimo 03 títulos)**

- SADIKU, Matthew N. O. Elementos de eletromagnetismo. Bookman, Porto Alegre, 3a. Ed. ou Superior.
- HAYT, William Hart. Eletromagnetismo, 4a Edição ou superior, Rio de Janeiro, Editora LTC
- GRIFFITHS, David J. (David Jeffery). Eletrodinâmica. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011. xv, 402 p., il. ISBN 9788576058861 (broch.).

#### **BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR (mínimo 05 títulos)**

- JACKSON, John David. Classical electrodynamics. 2. ed. ou superior, New York: J. Wiley
- SOPHOCLES J. Orfanidis, Electromagnetic Waves and Antenas, disponível livremente no site [www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa](http://www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa).
- REITZ, John R; MILFORD, Frederick J; CHRISTY, Robert W. Fundamentos da teoria eletromagnética. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, c1982. 516p., il. Inclui referencias bibliográficas. ISBN 8570011032.
- EDMINISTER, Joseph A. Eletromagnetismo. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980. 232p., il. (Coleção Schaum).
- RIBEIRO, José Antônio Justino. Propagação das ondas eletromagnéticas: princípios e aplicações. São Paulo: Erica, 2004. 390 p., il. Inclui bibliografia e índice. ISBN 857194993X (broch.).

**Obs.:** Devido à impossibilidade de empréstimo dos volumes físicos disponíveis na Biblioteca de Ciência e Tecnologia da UFPR, motivada pelas restrições de acesso às edificações da Universidade devido a Pandemia mundial da COVID-19, será dada ênfase ao uso dos slides/apostila de autoria do próprio docente. No entanto, referências bibliográficas indicadas tem sido disponibilizadas de forma temporária na forma de arquivos digitais fornecidos pelas respectivas editoras.

**Professor da Disciplina:** César Augusto Dartora

**Assinatura:** \_\_\_\_\_

**Chefe de Departamento ou Unidade equivalente:** Luiz Antônio Belinaso

Assinatura: \_\_\_\_\_

\*OBS: ao assinalar a opção % EAD, indicar a carga horária que será à distância.

### **Cronograma Detalhado de Aulas e Avaliações – Período Letivo 2020/Especial**

<b>Data</b>	<b>Assunto</b>
Semana 1 20/07 a 26/07 CH: 6h	Aula 0: <b>Introdução – Engenharia Elétrica e a Importância das Equações de Maxwell (Leitura- 1,25 hora)</b> <b>Revisão: Números complexos e cálculo vetorial (Leitura/Exercícios – 3,5 horas)</b> <b>Atividade 1 (entregar até 31/07)</b>
Semana 2 27/07 a 02/08 CH: 7h	Aula 1: <b>Partículas e Campos; Campos Ondulatórios (em inglês, disponível no Youtube)</b> Aula 2: <b>Equação de Ondas e Fundamentos da Ondulatória</b> Aula 3: <b>Solução da Equação de Ondas</b> Aula 4: <b>Equação de Ondas e a Invariância e Relatividade</b> <b>Atividade 2 (entregar até 07/08)</b>
Semana 3 03/08 a 09/08 CH: 7h	Aula 5: <b>Linhas de Transmissão, Guias de Ondas – definições principais e tipos, Limites de Validade da Teoria de Circuitos Elétricos</b> Aula 6: <b>Equações do Telegrafista/Ondas em LT – Dedução a partir do Modelo de Parâmetros Distribuídos</b> <b>Atividade 3 (entregar até 14/08)</b>
Semana 4 10/08 a 16/08	Aula 7: <b>Solução da Eq. De Ondas em LT</b> Aula 8: <b>Coeficiente de Reflexão, Impedância, Cargas Especiais</b>

CH: 8h	<b>Atividade 1 (entregar até ...)</b> Aula 9: <b>Pulsos em Linhas de Transmissão e Cargas Puramente Resisivas</b> Aula 10: <b>Carta de Smith</b> <b>Atividade 4 (entregar até 21/08)</b>
Semana 5 17/08 a 23/08 CH: 8h	Aula 11: <b>Equações de Maxwell: definições e significado físico</b> Aula 12: <b>Equações de Maxwell: Equações de Continuidade e consistência interna</b> Aula 13: <b>Equações de Maxwell: Leis de conservação, teorema de Poynting</b> Aula 14: <b>Equação de Ondas Eletromagnéticas: dedução a partir das Eqs. de Maxwell</b> <b>Atividade 5 (entregar até 28/08)</b>
Semana 6 24/08 a 30/08 CH: 8h	Aula 15: <b>Ondas Planas Uniformes Eletromagnéticas</b> Aula 16: <b>Princípio de Superposição de Ondas e Conexão com Problemas reais</b> Aula 17: <b>Interfaces Planas, Reflexão e Refração</b> Aula 18: <b>Ondas Planas Uniformes: Exercícios</b> <b>Atividade 6 (entregar até 04/09)</b>
Semana 7 31/08 a 06/09 CH: 8h	Aula 19: <b>Potenciais Eletromagnéticos e Liberdade de Calibre</b> Aula 20: <b>Equações de Ondas para os Potenciais Eletromagnéticos</b> Aula 21: <b>Solução Formal das Equações com Fontes e Aproximações</b> Aula 22: <b>Radiação Eletromagnética e Dipolo Elétrico</b> <b>Atividade 7 (entregar até 11/09)</b>
Semana 8 07/09 a 13/09 CH: 8h	Aula 23: <b>Características básicas de Antenas: Diretividade, Ganho e Diagramas de radiação</b> Aula 24: <b>Fórmula de Friis e Aplicações</b> Aula 25: <b>Exercícios de Antenas e Fórmula de Friis</b> Aula 26: <b>Ondas guiadas Revisitadas: Decomposição Transverso-Longitudinal</b> Aula 27: <b>Modos TE e TM em Guias de Microondas</b> Aula 28: <b>Fundamentos das Fibras ópticas (Informativa)</b> <b>Atividade 8 (entregar até 16/09)</b>
Semana 9 14/09 a 20/09	<b>Fechamento de Notas das Atividades/Período de Estudos.</b>
Semana 10 21/09 a 26/09	<b>Exame Final: Trabalho disponibilizado em 22/09 com prazo de entrega até 24/09.</b>

\*CH: Carga Horária Estimada para cada semana.

\*\*Atividades serão contabilizadas como 1,25h para o cômputo da carga horária total daquela semana, embora possam requerer mais tempo para a realização.

\*\*\* As datas acima seguem a 59/2020-CEPE que rege o Período Especial. Possíveis alterações de datas de aulas poderão ocorrer, a depender do andamento da disciplina e eventuais alterações em datas de avaliação serão previamente comunicadas aos alunos através da homepage da disciplina.

<http://www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE338.htm>