

UFMG – Departamento de Engenharia Eletrônica (DELT)

## Curso de Graduação em Engenharia Elétrica – 1º Semestre de 2024

**Disciplina:** ELT051 - Propagação de Ondas de Rádio (4 créditos - 60 horas-aula)

**Horário:** Terças e Quintas, 07:30 - 09:10

**Professor:** Fernando José da Silva Moreira  
Departamento de Engenharia Eletrônica (DELT)  
Engenharia – Bloco 1 – Sala 2629 – Tel: 3409-3445  
URL: <http://www.ppgee.ufmg.br/~fernando>  
E-mail: fernandomoreira@ufmg.br

---

### 1) Objetivos do Curso:

Apresentar conceitos, técnicas e aplicações da propagação de ondas de rádio em sistemas de comunicação sem fio. Ao final do curso, deseja-se que o aluno seja capaz de:

- entender os mecanismos básicos da propagação de ondas de rádio;
- analisar os efeitos do relevo, clima e obstáculos artificiais na atenuação de sinais de rádio;
- compreender os princípios da propagação de ondas de rádio em áreas construídas, incluindo os efeitos de desvanecimento em pequena e larga escala;
- analisar os efeitos dos fenômenos de multipercursos em um sistema de comunicação sem fio;
- entender e aplicar os conceitos básicos de radiometeorologia em sistemas de comunicação operando a partir da faixa de microondas;
- entender e aplicar técnicas de previsão de cobertura em sistemas de comunicação sem fio;
- compreender e aplicar os conceitos básicos de caracterização de canais móveis.

### 2) Programa:

- A) Sistemas de comunicação: faixas de frequência; tipos de serviço; meios de transmissão; dependência faixa-tipo de serviço-mecanismo.
- B) Atenuação das ondas de rádio: propagação no espaço livre; função atenuação; propagação sobre a terra plana e esférica.
- C) Conceitos básicos de radiometeorologia: refração atmosférica; trajetória das ondas eletromagnéticas; conceito de raio equivalente da terra; efeitos de dutos troposféricos.
- D) Caracterização de fenômenos de multipercurso: natureza da propagação em multipercurso; desvanecimento em pequena escala; ângulo de chegada e espectros de sinal; sinal recebido; autocorrelação de envelope e espectro de potência de banda básica; taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento; diferença de fase, FM aleatório e componentes do campo; variabilidade do sinal.

- E) Caracterização de canal banda larga: desvanecimento seletivo; canais determinísticos; canais variantes; classificação de canais; caracterização do canal móvel.

### **3) Avaliação:**

A avaliação será feita através de duas provas escritas durante o decorrer do curso (33 pontos cada) e uma prova escrita final (34 pontos), num total de 100 pontos.

A) Provas no meio do semestre: serão realizadas duas provas escritas, cada uma valendo 33 pontos. A matéria a ser avaliada vai desde o início do curso até o tópico especificado pelo professor. O aluno que não comparecer à prova terá nota zero na mesma. Somente em casos de doença, com comprovação médica, o aluno faltoso poderá ter a sua nota substituída por uma avaliação extra, que neste caso será oral e realizada numa data a ser determinada pelo professor.

B) Prova escrita final: esta prova será realizada no final do semestre, valerá 34 pontos e envolverá toda a matéria oferecida no curso. O aluno que não comparecer à prova final terá nota zero na mesma. Somente em casos de doença, com comprovação médica, o aluno faltoso poderá ter a sua nota substituída por uma avaliação extra, que neste caso será oral e realizada numa data a ser determinada pelo professor.

### **4) Datas das Provas:**

- A) Primeira Prova: quinta-feira, 18 de abril de 2024.
- B) Segunda Prova: terça-feira, 14 de maio de 2024.
- C) Prova Final: quinta-feira, 20 de junho de 2024.
- D) Exame Especial: terça-feira, 25 de junho de 2024.

### **5) Bibliografia Recomendada:**

- A) Rappaport, T. S., *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd Edition, Prentice Hall, New York, 2002.
- B) Bertoni, H. L., *Radio Propagation for Modern Wireless Systems*, Prentice Hall, New York, 2000.
- C) Lee, W. C. Y., *Mobile Communications Engineering*, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, 1998.
- D) Kerr, D. E., *Propagation of Short Radio Waves*, IEE Electromagnetic Waves Series, Peter Peregrinus, London, UK, 1987.

**6) Calendário Proposto (pode ser alterado a critério do professor):**

Terça-feira	Quinta-feira
5 de março – Introdução.	7 de março – Modelo do espaço-livre.
12 de março – Modelo do espaço-livre / Modelo da terra plana.	14 de março – Modelo da terra plana.
19 de março – Modelo da terra esférica.	21 de março – Modelo da terra esférica / Modelo da terra plana equivalente.
26 de março – Terreno rugoso e enlace com visibilidade.	28 de março – <b>Feriado (Páscoa).</b>
2 de abril – Terreno rugoso e enlace com visibilidade / Terreno rugoso e sem visibilidade: zonas de Fresnel.	4 de abril – Terreno rugoso e sem visibilidade: modelo gume-de-faca.
9 de abril – Eq. de onda em meios não-homogêneos, Solução da eq. do eikonal, trajetória de raios em meios com estratificação esférica.	11 de abril – Trajetória de raios em meios com estratificação esférica. Conceito de raio equivalente da Terra.
16 de abril – Dutos troposféricos.	18 de abril – <b>Prova.</b>
23 de abril – Desvanecimentos de larga escala: Introdução. Modelo log-distância.	25 de abril – Sombreamento log-normal. Exemplos: Modelo log-distância, sombreamento log-normal e interferência entre células.
30 de abril – Percentagem de área coberta.	2 de maio – Modelos de Okumura e Hata.
7 de maio – Desvanecimentos de pequena escala e multipercurso: introdução.	9 de maio – Efeito Doppler. Modelo de Clarke.
14 de maio – <b>Prova.</b>	16 de maio – Parâmetros de um canal rádio com multipercurso (dispersão espectral).
21 de maio – Distribuições de Rayleigh e Rice.	23 de maio – Distribuições de Rayleigh e Rice.
28 de maio – Caracterização banda-larga do canal de rádio com multipercurso: modelo de resposta impulsional.	30 de maio – <b>Feriado (Corpus Christi).</b>
4 de junho – Caracterização banda-larga do canal de rádio com multipercurso: modelo de resposta impulsional.	6 de junho – Relações de potência num canal com multipercurso.
11 de junho – Parâmetros de um canal rádio com multipercurso (dispersão temporal).	13 de junho – Parâmetros de um canal rádio com multipercurso (dispersão temporal).
18 de junho – Caracterização dos desvanecimentos de pequena escala.	20 de junho – <b>Prova.</b>
25 de junho – <b>Exame Especial.</b>	_____

## 7) Vídeos no Youtube (canal FJSMoreira UFMG):

**A relação entre assunto e vídeo não é precisa. Pode ser que você tenha que assistir ao final do vídeo anterior ou ao início do posterior. Favor alertar o professor sobre discrepâncias entre assunto e vídeo através do e-mail fernandomoreira@ufmg.br.**

Aula	Assunto	Título do vídeo
01	Introdução	PROPAG-Sem211-Aula01
02	Modelo do espaço-livre	PROPAG-Sem211-Aula02
03	Modelo do espaço-livre / Modelo da terra plana	PROPAG-Sem211-Aula03
04	Modelo da terra plana	PROPAG-Sem211-Aula04
05	Modelo da terra esférica	PROPAG-Sem211-Aula05
06	Modelo da terra esférica / Modelo da terra plana equivalente	PROPAG-Sem211-Aula06
07	Terreno rugoso e enlace com visibilidade	PROPAG-Sem211-Aula07
08	Terreno rugoso e enlace com visibilidade / Terreno rugoso e sem visibilidade: zonas de Fresnel	PROPAG-Sem211-Aula08
09	Terreno rugoso e sem visibilidade	PROPAG-Sem211-Aula09
10	Eq. de onda em meios não-homogêneos, Solução da eq. do eikonal, trajetória de raios em meios com estratificação plana	PROPAG-Sem211-Aula10 (Partes 1 & 2)
11	Trajectoria de raios em meios estratificados: terra esférica	PROPAG-Sem211-Aula11
12	Conceito de raio equivalente da terra / Dutos troposféricos	PROPAG-Sem211-Aula12
13	Desvanecimentos de larga escala: Introdução. Modelo log-distância	PROPAG-Sem211-Aula13
14	Sombreamento log-normal. Exemplos: Modelo log-distância, sombreamento log-normal e interferência entre células	PROPAG-Sem211-Aula14
15	Porcentagem de área coberta	PROPAG-Sem211-Aula15
16	Modelos de Okumura e Hata	PROPAG-Sem211-Aula16
17	Desvanecimentos de pequena escala e multipercurso: introdução	PROPAG-Sem211-Aula17
18	Efeito Doppler. Modelo de Clarke	PROPAG-Sem211-Aula18
19	Parâmetros de um canal rádio com multipercurso (dispersão espectral)	PROPAG-Sem211-Aula19
20	Distribuições de Rayleigh e Rice	PROPAG-Sem211-Aula20
21	Distribuições de Rayleigh e Rice	PROPAG-Sem211-Aula21
22	Caracterização banda-larga do canal de rádio com multipercurso: modelo de resposta impulsional	PROPAG-Sem211-Aula22
23	Caracterização banda-larga do canal de rádio com multipercurso: modelo de resposta impulsional	PROPAG-Sem211-Aula22
24	Relações de potência num canal com multipercurso	PROPAG-Sem211-Aula23
25	Parâmetros de um canal rádio com multipercurso (dispersão temporal)	PROPAG-Sem211-Aula24
26	Parâmetros de um canal rádio com multipercurso (dispersão temporal)	PROPAG-Sem211-Aula24
27	Caracterização dos desvanecimentos de pequena escala	PROPAG-Sem211-Aula25