



## PLANO DE ENSINO

### 1. IDENTIFICAÇÃO

|                        |                                  |                |            |           |               |                 |             |
|------------------------|----------------------------------|----------------|------------|-----------|---------------|-----------------|-------------|
| Componente Curricular: | PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS  |                |            |           |               |                 |             |
| Unidade Ofertante:     | FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA |                |            |           |               |                 |             |
| Código:                | FEELT36511                       | Período/Série: | 5º PERIODO | Turma:    | U             |                 |             |
| Carga Horária:         |                                  |                |            | Natureza: |               |                 |             |
| Teórica:               | 45                               | Prática:       | 15         | Total:    | 60            | Obrigatória( ): | Optativa( ) |
| Professor(A):          | Rafael Augusto da Silva          |                |            |           | Ano/Semestre: | 2023/2          |             |
| Observações:           |                                  |                |            |           |               |                 |             |

### 2. EMENTA

Sistemas e sinais discretos, Amostragem, Sistemas lineares invariantes no tempo, Transformada discreta de Fourier, Transformada z e Projeto de filtros digitais.

### 3. JUSTIFICATIVA

O conteúdo da referida componente curricular alarga o conhecimento profissional do estudante no que diz respeito ao processamento da informação, contribui para o melhoramento de sua metodologia científica, uma vez que o conteúdo abordado é essencialmente de cunho científico mas também enriquece seu conhecimento prático uma vez que inúmeros exemplos práticos, contextualizados na área de Telecomunicações, são apresentados no decorrer deste componente curricular.

### 4. OBJETIVO

Ao final da disciplina o estudante será capaz de:

1. analisar os processos de digitalização de sinais analógicos;
2. interpretar espectros e os efeitos da digitalização no seu cálculo;
3. desenvolver projetos de filtros digitais recursivos e não-recursivos;
4. utilizar ferramentas matemáticas e computacionais na análise de sinais e sistemas discretos;
5. interpretar sinais e sistemas a partir de sua resposta em frequência ou conteúdo espectral;
6. projetar filtros digitais recursivos e não-recursivos e sistemas discretos.

Entre as competências a serem desenvolvidas no estudante destacam-se:

1. Formular, de maneira ampla e sistêmica, questões de engenharia, considerando

o usuário e seu contexto, concebendo soluções criativas, bem como o uso de técnicas adequadas;

2. Ser capaz de modelar os fenômenos, os sistemas físicos e químicos, utilizando as ferramentas matemáticas, estatísticas, computacionais e de simulação, entre outras;
3. Prever os resultados dos sistemas por meio dos modelos;
4. Conceber experimentos que gerem resultados reais para o comportamento dos fenômenos e sistemas em estudo;
5. Verificar e validar os modelos por meio de técnicas adequadas;
6. Ser capaz de conceber e projetar soluções criativas, desejáveis e viáveis, técnica e economicamente, nos contextos em que serão aplicadas;
7. Projetar e determinar os parâmetros construtivos e operacionais para as soluções de Engenharia;
8. Ser capaz de expressar-se adequadamente, seja na língua pátria ou em idioma diferente do Português, inclusive por meio do uso consistente das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDICs), mantendo-se sempre atualizado em termos de métodos e tecnologias disponíveis;
9. Ser capaz de interagir com as diferentes culturas, mediante o trabalho em equipes presenciais ou a distância, de modo que facilite a construção coletiva;
10. Gerenciar projetos e liderar, de forma proativa e colaborativa, definindo as estratégias e construindo o consenso nos grupos;
11. Ser capaz de assumir atitude investigativa e autônoma, com vistas à aprendizagem contínua, à produção de novos conhecimentos e ao desenvolvimento de novas tecnologias;
12. Aprender a aprender.

## 5. PROGRAMA

### 1. Sistemas e sinais discretos

- 1.1. Notações de sequências discretas
- 1.2. Representações de sinais
- 1.3. Introdução aos sistemas lineares invariantes no tempo e discretos
- 1.4. Propriedades de sistemas LTI discretos
- 1.5. Aplicações da área de processamento digital de sinais

### 2. Amostragem

- 2.1. Aliasing
- 2.2. Reconstrução de sinal limitado em frequência
- 2.3. Quantização e conversão A/D e D/A
- 2.4. Aspectos práticos da amostragem em banda de passagem
- 2.5. Reconstrução de sinais

### 3. Sistemas lineares invariantes no tempo

- 3.1. Resposta em frequência
- 3.2. Resposta ao impulso
- 3.3. Equação de diferenças

- 3.4. Magnitude e fase
- 3.5. Estruturas de implementação: diagramas em bloco
- 3.6. Estruturas IIR, FIR e rede
- 3.7. Correlação entre sinais

#### **4. Transformada discreta de Fourier**

- 4.1. Autocorrelação
- 4.2. Entendendo a equação da transformada discreta
- 4.3. Propriedades da transformada discreta de Fourier
- 4.4. Transformada inversa
- 4.5. Leakage
- 4.6. Janelamento
- 4.7. Resolução e preenchimento com zeros
- 4.8. Análise e interpretação de espectros
- 4.9. Cálculo da transformada rápida de Fourier

#### **5. Transformada z**

- 5.1. Plano z e associação com a equação de diferenças
- 5.2. Visualização da transformada z no espaço z
- 5.3. Propriedades
- 5.4. Transformada inversa

#### **6. Projeto de filtros digitais**

- 6.1. Projeto de filtros FIR por janelamento
- 6.2. Filtros FIR passa baixa, passa banda, passa alta e rejeita banda
- 6.3. Método de Parks-McClellan
- 6.4. Projeto de filtros IIR a partir de sistemas contínuos
- 6.5. Transformação bilinear
- 6.6. Filtros IIR passa baixa, passa banda, passa alta e rejeita banda
- 6.7. Associação de filtros série e paralelo
- 6.8. Análise de estabilidade
- 6.9. Quantização e arredondamento para aritmética de ponto fixo e ponto flutuante finito.

#### **6. METODOLOGIA**

Aulas teóricas, práticas e atividades de Atividades Acadêmicas Extras - AAEs. As aulas teóricas serão dialogadas e expositivas, utilizando quadro branco e projeção de conteúdo digital. Nas aulas práticas, os(as) estudantes realizarão experimentos envolvendo métodos de processamento digital de sinais utilizando o software Matlab.

#### **• Conteúdo Programático para Atividades Teóricas Presenciais**

As aulas teóricas serão realizadas às terças-feiras das 11h30min às 12h20min e às

quartas-feiras das 08h50min às 10h40min no Bloco G da UNIPAM, sala 205.

| <b>Aula</b> | <b>Data</b> | <b>Conteúdo Teórico</b>                                                                                                                                          |
|-------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1-2         | 09/01/2024  | Apresentação do plano de ensino, metodologia e critérios de avaliação<br>Introdução a PDS: história e perspectivas                                               |
| 3-4         | 10/01/2024  | Sinais de Tempo Discretos                                                                                                                                        |
| 5-6         | 17/01/2024  | Sistemas de tempo Discreto<br><b>Estudo Dirigido 1</b> - Sinais de Tempo Discreto                                                                                |
| 7-8         | 24/01/2024  | Sistemas lineares e invariantes no tempo                                                                                                                         |
| 9-10        | 31/01/2024  | Sistemas lineares e invariantes no tempo<br><b>Estudo Dirigido 2</b> - SLIT                                                                                      |
| 11-12       | 07/02/2024  | Convolução<br><b>Estudo Dirigido 3</b> - Convolução                                                                                                              |
| -           | 13/02/2024  | FERIADO                                                                                                                                                          |
| -           | 14/02/2024  | FERIADO                                                                                                                                                          |
| 13-14       | 20/02/2024  | Equação das diferenças<br><b>Estudo Dirigido 4</b> - Equação de diferenças                                                                                       |
| 15-16       | 21/02/2024  | <b>PROVA 1:</b> 25 pontos (individual, sem consulta, com questões dissertativas e/ou objetivas)                                                                  |
| 17-18       | 28/02/2024  | Sinais e sistemas no domínio da frequência<br>Transformada de Fourier                                                                                            |
| 19-20       | 05/03/2024  | Amostragem periódica e representação da amostragem no domínio da frequência                                                                                      |
| 21-22       | 06/03/2024  | Amostragem: aliasing, reconstrução de sinal limitado em frequência e conversões A/D e D/A<br><b>Estdo Dirigido 5</b> - Transformada de Fourier de Tempo Discreto |
| 23-24       | 13/03/2024  | Transformada Discreta de Fourier - DFT                                                                                                                           |
| 25-26       | 19/03/2024  | DFT: análise espectral, FFT                                                                                                                                      |
| 27-28       | 20/03/2024  | <i>Leakage</i> , janelamento e resolução da TDF<br><b>Estudo dirigido 6</b> - Amostragem                                                                         |
| 29-30       | 26/03/2024  | <b>PROVA 2:</b> 25 pontos (individual, sem consulta, com questões dissertativas e/ou objetivas)                                                                  |

|       |            |                                                                                                               |
|-------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 31-32 | 27/03/2024 | Transformada Z: plano z, região de convergência e propriedades                                                |
| 33-34 | 03/04/2024 | Transformada Z: transformada inversa e convolução                                                             |
| 35-36 | 09/04/2024 | Transformada Z: aplicação em sistemas LTI                                                                     |
| 37-38 | 10/04/2024 | <b>Estudo Dirigido 7</b> - Transformada Z                                                                     |
| 39-40 | 27/04/2024 | Filtros FIR                                                                                                   |
| 41-42 | 16/04/2024 | Filtros FIR / IIR                                                                                             |
| 43-44 | 17/04/2024 | <b>PROVA 3:</b> 20 pontos (individual, sem consulta, com questões dissertativas e/ou objetivas)               |
| 45-46 | 23/04/2024 | <b>Prova de Recuperação:</b> 100 pontos (individual, sem consulta, com questões dissertativas e/ou objetivas) |

- **Conteúdo Programático para Atividades Práticas Presenciais**

As aulas práticas serão realizadas às terças-feiras das 10h40min às 11h30min no Laboratório do Bloco Alfa.

| <b>Aula</b> | <b>Data</b> | <b>Conteúdo Prático</b>             |
|-------------|-------------|-------------------------------------|
| 1-2         | 16/01/2024  | Introdução ao Matlab - 1            |
| 3-4         | 23/01/2024  | Introdução ao Matlab - 2            |
| 5-6         | 30/01/2024  | Sinais de tempo discreto            |
| 7-8         | 06/02/2024  | Convolução                          |
| 9-10        | 27/02/2024  | Amostragem e Reconstrução de Sinais |
| 11-12       | 12/03/2024  | Transformada Discreta de Fourier    |
| 13-14       | 02/04/2024  | Transformada Z                      |

- **Conteúdo Programático para Atividades Acadêmicas Extras**

| <b>Aula</b> | <b>Data</b> | <b>Atividade Acadêmica Extra</b>                     |
|-------------|-------------|------------------------------------------------------|
| 1-2         | 23/01/2024  | Prática - Utilizando Live Scripts no Matlab          |
| 3-4         | 16/04/2024  | Tópico especial – Processamento Digital de Áudio     |
| 5-6         | 05/04/2024  | Tópico especial – Processamento Digital de Imagens 1 |
| 7-8         | 12/04/2024  | Tópico especial – Processamento Digital de Imagens 2 |
| 9-10        | 17/04/2024  | Prática 8 – Exemplos de Projeto de Filtros no Matlab |
| 11-12       | 16/04/2024  | Revisão – Prova 3                                    |

| <b>Carga Horária</b>       | <b>Teórica</b> | <b>Prática</b> |
|----------------------------|----------------|----------------|
| Presencial Total           | 46             | 14             |
| AAE Total                  | 8              | 4              |
| <b>Total da disciplina</b> | 54             | 18             |

- **Atendimento**

O atendimento aos alunos da disciplina será realizado de forma presencial no Bloco Alfa, sala 15, de acordo com o seguinte planejamento: quartas-feiras entre 14h30 e 17h00, ou outro dia desde que agendado com o professor previamente.

## 7. AVALIAÇÃO

- **Aproveitamento**

A avaliação de desempenho dos discentes será feita por entrega de relatórios e duas provas. O cronograma de atividades avaliativas e a distribuição da pontuação é apresentada.

Os resultados das avaliações serão divulgados no mural do curso, sendo que as notas serão apresentadas pelos números de matrícula dos alunos. A divulgação das notas deve acontecer em até 15 dias úteis após a sua realização e a vista de prova será marcada com os alunos, a partir da data de divulgação das notas, respeitando-se o prazo de no máximo 5 dias úteis, como previsto na Resolução do CONGRAD (Nº46/2022).

| <b>DATA</b> | <b>ATIVIDADE AVALIATIVA</b> | <b>PONTUAÇÃO</b> |
|-------------|-----------------------------|------------------|
| 08/02/2024  | Prova 01                    | 25 pontos        |
|             |                             |                  |

|                                                                                                |                           |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------|
| 10/03/2024                                                                                     | Prova 02                  | 25 pontos   |
| 09/04/2024                                                                                     | Prova 03                  | 20          |
| 16/04/2024                                                                                     | Prova de Recuperação      | 100 pontos* |
| 10/01/2024<br>24/01/2024<br>31/01/2024<br>04/02/2024<br>21/02/2024<br>05/03/2024<br>26/03/2024 | Estudos Dirigidos         | 15 pontos   |
| 25/01/2024<br>01/02/2024<br>08/02/2024<br>29/02/2024<br>13/03/2024<br>14/04/2024               | Relatórios Práticos Aulas | 15 pontos   |
| TOTAL                                                                                          |                           | 100 pontos  |

### • Frequência

A frequência para aulas presenciais será aferida por chamada oral durante as aulas, já para a horas vinculadas a parte assíncrona estas serão aferidas com a entrega dos trabalhos avaliativos.

### • Recuperação

É necessário ter 75% de presença para ter direito a realizar a prova de recuperação e a mesma somente será aplicada para o aluno que não atingiu 60 pontos.

A recuperação consistirá de uma avaliação no valor de 100 pontos, presencial e individual. Não será permitido consulta. Será permitido o uso de calculadoras. Celulares deverão ser desligados durante a avaliação. A recuperação não terá nenhuma questão que utilize simulação.

Considerando a Média Final Parcial (MP) a nota obtida no semestre ante da recuperação e a Recuperação (REC) como acima descrita, a Nota Final da disciplina (MF) será dada pela seguinte fórmula:

$$MF = (MP)*0,6 + (REC)*0,4, \text{ sendo limitado em 60 o valor máximo de MF obtido pelo aluno em recuperação.}$$

## 8. BIBLIOGRAFIA

### Básica

1. OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W. **Processamento em tempo discreto de sinais**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

2. NALON, J. A. **Introdução ao Processamento Digital de Sinais**. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Disponível em <https://www.sistemas.ufu.br/biblioteca-gateway/minhabiblioteca/978-85-216-2615-2>.
3. DINIZ, P. S. R.; SILVA, E. A. B.; LIMA, N. S. **Processamento digital de sinais - projeto e análise de sistemas**, Bookman, 2004. Disponível em <https://www.sistemas.ufu.br/biblioteca-gateway/minhabiblioteca/9788582601242>.
4. HAYES, M. H. **Teoria e problemas de processamento digital de sinais**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

### **Complementar**

1. LYONS, R. G. **Understanding digital signal processing**. 3ed. Upper Saddle River: Prentice Hall PIR, 2011.
2. LATHI, B. P.; GREEN, R. A. **Essentials of digital signal processing**. 1ed Cambridge University Press, 2014.
3. PROAKIS, J. G. e MANOLAKIS, D. K. **Digital signal processing**. 4th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007.
4. WEEKS, M. **Processamento digital de sinais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
5. LEIS, John. **Digital signal processing using MATLAB for students and researchers**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

### **9. APROVAÇÃO**

Aprovado em reunião do Colegiado conforme Decisão Administrativa do Colegiado anexada ao processo referenciado.

Coordenação do Curso de Graduação: \_\_\_\_\_



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Augusto da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 02/02/2024, às 09:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Costa Ramos, Coordenador(a)**, em 15/02/2024, às 08:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4943159** e o código CRC **B8906E43**.