

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Universidade Federal de Uberlândia – Avenida João Naves de Ávila, no 2121, Bairro Santa Mônica – 38400-902 – Uberlândia – MG

**Faculdade de Engenharia Mecânica
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA AERONÁUTICA/MECATRÔNICA**

PLANO DE ENSINO REMOTO

1. IDENTIFICAÇÃO

COMPONENTE CURRICULAR: Controle de Sistemas Lineares				
UNIDADE OFERTANTE: FEMEC				
CÓDIGO: FEMEC42060		PERÍODO/SÉRIE: 6º		TURMA: V*
CARGA HORÁRIA			NATUREZA	
TEÓRICA: 60	PRÁTICA: 15	TOTAL: 75	OBRIGATÓRIA: (X)	OPTATIVA: ()
PROFESSOR: Pedro Augusto Q. de Assis			ANO/SEMESTRE: AARE/Etapa 1	
N. de vagas ofertadas por curso: 20 para a Aeronáutica e 20 para a Mecatrônica				

2. EMENTA

Conceitos fundamentais: Sistemas lineares, linearização, diagrama de blocos e diferenças entre as estruturas de controle em malha aberta e fechada. Aplicações industriais. Função de transferência. Polos e zeros Estabilidade de sistemas dinâmicos. Método do lugar geométrico das raízes (LGR). Técnicas de projeto controlador no LGR. Controlador PID. Resposta em frequência de sistemas lineares. Diagramas de Bode e de Nyquist. Análise e projeto de controladores utilizando a resposta em frequência. Representação de sistemas no espaço de estados. Projeto de controlador e observador no espaço de estados.

3. JUSTIFICATIVA

Segundo o Projeto Pedagógico do Curso – PPC (página 33) um dos objetivos do curso é “Fornecer uma formação multidisciplinar contemplando os conceitos básicos das várias áreas afeitas à engenharia mecânica, eletroeletrônica e computação incluindo, microprocessadores, controle de máquinas e processos via computador”. Portanto, a presente disciplina é de fundamental importância para que o estudante entenda como é feito o controle de processos, base importante para a futura atuação do engenheiro mecatrônico na área de automação Industrial e de controle.

4. OBJETIVOS

Objetivo Geral: Fornecer ao estudante um conhecimento fundamental da área de controle de sistemas lineares a tempo contínuo envolvendo a teoria de controle clássico e moderno.

Objetivos Específicos: Projetar sistemas de controle automático para aplicação em sistemas mecânicos e eletromecânicos utilizando o Lugar Geométrico das Raízes (LGR), a resposta em frequência e a representação no espaço de estados. Empregar ferramentas computacionais para simular a operação de sistemas em malha fechada. Aplicar estes conhecimentos em sistemas lineares reais de modo a atingir os requisitos de projeto.

5. METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES REMOTAS

5.1. PLATAFORMA DE TI

As atividades do curso serão realizadas utilizando a plataforma *Google Classroom*. Mais precisamente, na sala de aula que pode ser acessada por meio código **yykgt2q** no seguinte endereço web: <https://classroom.google.com>. Cabe destacar que tal plataforma é gratuita e permite o compartilhamento de materiais, realização de questionários e interação entre os participantes.

No caso particular das atividades síncronas, adotar-se-á o *Google Meets*, que é uma plataforma gratuita para realização de reuniões virtuais.

5.2. DESCRIÇÃO DE ATIVIDADES E DIVISÃO DE CARGAS HORÁRIAS

O curso será composto por atividades síncronas, assíncronas (teóricas e práticas) e outras tarefas (como elaboração de relatórios, projeto final e estudo individual). A descrição de cada uma dessas atividades encontra-se na Tabela 1. O detalhamento de como serão realizadas as atividades práticas é apresentado na Seção 5.3.

Tabela 1 – Descrição de atividades do curso.

Tipo de atividade	Descrição
Síncrona	Aula síncrona para discussão sobre dúvidas e resolução de exercícios
Assíncrona - Teórica	Aulas teóricas previamente gravadas e estudo individual
Assíncrona - Prática	Simulações numéricas utilizando a linguagem Python realizadas a partir de roteiro e códigos fornecidos
Assíncrona - Outras tarefas	Resolução de exercícios, elaboração de relatórios e desenvolvimento de projeto final

A carga horária e o dia de semana de divulgação/realização das atividades da Tabela 1 são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Carga horária e dia de divulgação/realização das atividades do curso.

Atividade	Carga horária semanal (ha*)	Carga horária total (ha*)	Dia da semana de divulgação/realização
Síncrona	3	27	Terça-feira (das 10h40 às 12h20) Sexta-feira (das 13h10 às 13h55)
Assíncrona - Teórica	4	36	Segunda-feira
Assíncrona - Prática	2	18	Segunda-feira
TOTAL		81	

ha = hora aula.

Os programas das atividades assíncronas e das aulas práticas encontram-se na Seção 7.

5.3. DESCRIÇÃO DAS AULAS PRÁTICAS

As aulas práticas serão compostas por simulações numéricas na linguagem Python (<https://www.python.org/>). Para isso, os discentes devem dispor de computador pessoal com

alguma IDE (*Integrated Development Environment*) para programação em Python instalada. Existem diferentes IDEs gratuitas disponíveis e de fácil instalação. Por exemplo, Pycharm Community Edition (**recomendado**), Vim, Visual Code Studio, Spyder, entre outras.

Cabe salientar que atualmente as aulas práticas são realizadas em um kit didático de baixo custo composto por Arduino UNO, motor CC, ponte H e componentes adicionais (e.g. fonte de energia, fios de conexão, resistores, *protoboard*). Caso o discente tenha um kit similar disponível, será possível optar por realizar a atividade prática em casa, ao invés da simulação.

Em ambos cenários (simulação ou experimental), serão distribuídos roteiros com o passo-a-passo para realização da aula, bem como os códigos a serem utilizados.

5.4 ACESSO ÀS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Todo o material de aula (apresentações de aulas, listas de exercícios, roteiros) será disponibilizado aos estudantes no *Google Classroom*. Mais ainda, materiais extras de leitura serão fornecidos ao longo do curso.

5.5 AVALIAÇÃO E ASSIDUIDADE

A avaliação do aproveitamento do curso será composta por questionários semanais, relatórios de aulas práticas e de elaboração de projeto final. A pontuação de cada atividade é detalhada na Seção 6.

Informações adicionais sobre atividades avaliativas:

- 1) Os relatórios serão enviados por e-mail para pedro.assis@ufu.br;
- 2) **Os questionários serão aplicados sextas-feiras (exceto em feriados) 15h. Nota: Caso sexta-feira for feriado, o questionário ocorrerá na quinta-feira;**
- 3) Dúvidas poderão ser sanadas nas aulas síncronas (**terças-feiras das 10h40 às 12h20; sextas-feiras das 13h10 às 13h55**);
- 4) As assiduidades das aulas teóricas e práticas serão aferidas pelo preenchimento dos questionários e entrega dos relatórios, respectivamente.

6. DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

O sistema de avaliação consiste de questionários e relatórios de aulas práticas e de elaboração de projeto final. A tabela a seguir mostra a distribuição dos 100 pontos:

Tabela 1 – Pontuação no sistema de avaliação

Item de avaliação	Qtd.	Valor unitário	Valor total do item	Obs.
Questionário	6*	10	50*	Individual
Relatório de aula prática	6**	5	25**	Grupo de 4 discentes
Relatório de projeto final	1	25	25	Grupo de 4 discentes
TOTAL			100	

* De 6 questionários a serem realizados, serão consideradas as 5 maiores notas.

** De 6 relatórios a serem entregues, serão consideradas as 5 maiores notas.

*** Não haverá reposição de questionários e de aulas práticas.

**** Os relatórios de aulas práticas devem ser entregues até a segunda-feira da semana seguinte à disponibilização do roteiro. Será descontado 20 % da nota total bruta por dia de atraso. Após 5 dias, não serão mais aceitos os relatórios daquela semana.

***** O relatório de projeto final não poderá ser entregue atrasado.

6. PROGRAMA DE ATIVIDADES ASSÍNCRONAS – AULAS TEÓRICAS	
Formato/ Data de disponibilização	Conteúdo
Vídeo-aula/ 26/10/2020	Introdução sobre sistemas de controle automático: Histórico. Aplicações. Definição do que é um problema de controle e dos elementos envolvidos. Apresentação do plano de curso. Instruções para elaboração do projeto.
Vídeo-aula/ 26/10/2020	Sistemas Lineares, não lineares e linearização. Sistemas variantes e invariantes no tempo. Início de revisão sobre Transformada de Laplace.
Estudo individual/ 26/10/2020	Transformada Inversa de Laplace. Expansão em frações parciais. Resolução de equações diferenciais.
Vídeo-aula/ 03/11/2020	Definição de função de transferência. Diagramas de blocos. Sistemas de controle automático em malha aberta e fechada. Comparação entre sistemas em malha aberta e fechada.
Vídeo-aula/ 03/11/2020	O conceito de estabilidade. A relação entre a resposta dinâmica e a localização dos polos.
Questionário semanas 1 e 2 (06/11/2020)	
Vídeo-aula/ 09/11/2020	Análise de sistemas lineares no domínio do tempo. Análise da resposta de sistemas de 1ª ordem à entradas degrau e rampa.
Vídeo-aula/ 09/11/2020	Análise da resposta de sistemas de 2ª ordem à entrada degrau. Relação entre a localização polos do sistema no plano complexo e a resposta temporal.
Estudo individual/ 09/11/2020	Tipos de sistema. Erro de regime estacionário. Ajuste de ganho para adequação de tal erro.
Questionário semana 3 (13/11/2020)	
Vídeo-aula/ 16/11/2020	Método do Lugar Geométrico das Raízes. Posicionamento de polos e zeros. Polos dominantes.
Vídeo-aula/ 16/11/2020	Ajuste de ganho proporcional utilizando o LGR. Projetos de compensadores simples a partir do LGR.
Estudo individual/ 16/11/2020	Projeto de compensadores por avanço e/ou atraso de fase no LGR.
Questionário semana 4 (19/11/2020)	
Vídeo-aula/ 23/11/2020	Controle PID: composição. Regras de sintonia para controladores PID.
Vídeo-aula/ 23/11/2020	Resposta em frequência de sistemas lineares. Diagrama de Bode.
Vídeo-aula/ 30/11/2020	Margens de estabilidade relativa. Critérios de desempenho do sistema no domínio da frequência.

	Ajuste de ganho no domínio da frequência.
Estudo individual/ 30/11/2020	Diagrama de módulo em dB x ângulo de fase. Carta de Nichols-Black.
Vídeo-aula/ 30/11/2020	Projeto de compensadores por avanço e/ou atraso de fase utilizando a resposta em frequência.
Questionário semanas 5 e 6 (04/12/2020)	
Vídeo-aula/ 07/12/2020	Diagrama polar. Princípio do argumento. Critério de estabilidade de Nyquist – parte 1.
Vídeo-aula/ 07/12/2020	Critério de estabilidade de Nyquist – parte 2.
Questionário semana 7 (11/12/2020)	
Vídeo-aula/ 14/12/2020	Representação de sistemas no espaço de estados. Relação entre o espaço de estados e a função de transferência.
Vídeo-aula/ 14/12/2020	Projeto de controlador por realimentação de estados. Controlabilidade de sistemas lineares.
Estudo individual/ 14/12/2020	Observadores de estado e observabilidade. Regras para ajuste de observadores de estado.
Vídeo-aula/ 14/12/2020	Projeto de sistemas reguladores com observadores de estado. Princípio da superposição.
Vídeo-aula/ 14/12/2020	Projeto de sistemas controladores com observadores de estado.
Questionário semana 8 (18/12/2020)	
Entrega do projeto final – segunda-feira da semana 8 (18/12/2020)	

6. PROGRAMA DE ATIVIDADES ASSÍNCRONAS – AULAS PRÁTICAS	
Data de disponibilização de roteiro e códigos	Conteúdo
26/10/2020	Instalação de IDE para programação em Python. Compilação de códigos exemplo.
03/11/2020	Verificação das vantagens da realimentação.
09/11/2020	Ensaio com sistemas de primeira e segunda ordem.
16/11/2020	Projeto de controle utilizando o LGR para sistemas instáveis.
23/11/2020	Controlador Proporcional + Integral + Derivativo (PID) 1.
30/11/2020	Controlador Proporcional + Integral + Derivativo (PID) 2.
07/12/2020	Identificação e projeto de controlador utilizando a resposta em frequência
14/12/2020	Projeto de controlador e de observador utilizando o espaço de estados.

8. BIBLIOGRAFIA BÁSICA

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5ª ed. São Paulo: Pearson, 2011. 824 p.

NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 706 p.

FRANKLIN, G F.; POWELL, J. D.; EMAMI-NAEINI, A. **Sistemas de controle para engenharia**. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 702 p.

COMPLEMENTAR

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de controle modernos**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 659 p.

DISTEFANO, Joseph J.; STUBBERUD, Allen R.; WILLIAMS, Ivan J. **Feedback and control systems**. McGraw-Hill Education, 2012.

D'AZZO, John Joachim; HOUPIS, Constantine Dino. **Linear control system analysis and design: conventional and modern**. McGraw-Hill Higher Education, 1995.

KUO, Benjamin C.; GOLNARAGHI, Farid. **Automatic control systems**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995.

DOYLE, John C.; FRANCIS, Bruce A.; TANNENBAUM, Allen R. **Feedback control theory**. Courier Corporation, 2013.

ASSUNÇÃO, E.; TEIXEIRA, M. **Controle Linear I. Parte A - Sistemas Contínuos no Tempo**. 2013. Acessado em 2020. Link para acesso: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lpc1672/apostila-de-controle-linear-i.pdf>

10. APROVAÇÃO

Aprovado em reunião do Colegiado realizada em: ____/____/_____
Coordenação do Curso de Graduação em:
