



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



## PLANO DE ENSINO

### 1. IDENTIFICAÇÃO

Componente Curricular:	<b>Controle de Processos Químicos II</b>						
Unidade Ofertante:	<b>Faculdade de Engenharia Química</b>						
Código:	<b>FEQUI31022</b>	Período/Série:	8o		Turma:	Q	
Carga Horária:				Natureza:			
Teórica:	60	Prática:	0	Total:	60	Obrigatória (X)	Optativa: ( )
Professor(A):	Luís Cláudio Oliveira Lopes				Ano/Semestre:	2021/1	
Observações:	Ano/Semestre 2021/1 a ser executado de novembro/2021 a abril/2022						

### 2. EMENTA

Funções de transferência e diagramas de blocos; análise do efeito de perturbações em sistemas de primeira ordem, segunda ordem, sistemas com tempo morto, com resposta inversa, em série, com e sem interação; sistemas de controle *feedback*: efeito das ações de controle, estabilidade e ajuste de controladores (curva de reação, síntese direta, IMC e minimização das integrais de erro; desenvolvimento de modelos empíricos para aplicação em controle de processos; técnicas de controle avançado: *feedforward*, controle de razão, estratégias de controle (cascata, compensação de tempo morto, controle seletivo, adaptativo), controle MIMO (desacoplamento) e controle supervisório; controle preditivo; estudo de casos com softwares disponíveis.

### 3. JUSTIFICATIVA

A disciplina de Controle de Processos Químicos II permitirá ao aluno entender um sistema de controle do ponto de vista de segurança operacional e pessoal, adaptação a perturbações externas, estabilidade operacional, especificação do produto, redução do impacto ambiental, adaptação às restrições inerentes (equipamento/ materiais/ etc.) e resultado econômico do processo. Um sistema de controle confiável permite operar próximo aos limites impostos pela segurança, pelo meio-ambiente e pelo processo (temperatura máxima, pureza mínima), o que permite alterar as condições de operação normais para uma condição mais favorável. Os ganhos associados a uma menor variabilidade se tornam ainda maiores em processos onde existem transições entre produtos com diferentes graus ou especificações, como ocorre frequentemente no refino do petróleo e em unidades de polimerização. Inevitavelmente, durante a transição, haverá um período em que será gerado um produto fora de especificação, que será reciclado (maior gasto de energia) ou vendido (a preços mais baixos). A seleção de uma boa estratégia de controle permite reduzir o tempo de produção fora da especificação, e conseqüentemente melhora o resultado econômico do processo. Dessa forma, os conteúdos trabalhados nesse curso atendem o princípio básico do projeto pedagógico do curso de formar engenheiros químicos com conceitos fundamentais sólidos e comprometidos com o bem estar social e econômico da comunidade em que se insere, sem abrir mão de questões de preservação ambiental.

### 4. OBJETIVO

#### Objetivo Geral:

Habilitar o aluno no desenvolvimento de projetos e sistemas nas áreas de automação de processos químicos.

## **Objetivos Específicos:**

Ao final da disciplina é esperado que o aluno seja capaz de:

- a) Selecionar algoritmos de controle e analisar seus efeitos na resposta de um processo;
- b) Analisar características de estabilidade de sistemas de controle;
- c) Projetar sistemas de controle avançado;
- d) Analisar sistemas de controle MIMO para plantas químicas

## **5. PROGRAMA**

### **1 - Introdução ao Controle de Processos**

- 1.1 Exemplo motivador
- 1.2 Classificação das estratégias de controle
- 1.3 Instrumentos de uma malha de controle
- 1.4 Controle de processos e diagrama de blocos
- 1.5 Justificativa econômica do controle de processos
- 1.6 Segurança de processos e controle
- 1.7 Projeto de processos e controle
- 1.8 Revisão de aspectos matemáticos: (a) Graus de liberdade, (b) Linearização de modelos, (c) transformada de Laplace, (d) autovalores, autovetores e valores singulares
- 1.9 Revisão de modelagem de processos: fenomenológica e empírica
- 1.10 Solução de modelos dinâmicos e o uso de simuladores digitais.

### **2 Funções de Transferência**

- 2.1 Desenvolvimento
- 2.2 Propriedades
- 2.3 Diagrama de blocos
- 2.4 Modelo em espaço de estados e na forma de matrizes de função de transferência
- 2.5 Pólos e zeros
- 2.6 Aproximação de funções de transferência para sistemas de ordens elevadas

### **3 Resposta de Sistemas em Malha Aberta**

- 3.1 Perturbações
- 3.2 Resposta de sistemas de primeira ordem
- 3.3 Resposta de sistemas de segunda ordem
- 3.4 Resposta de sistemas integranes
- 3.5 Efeitos de polos e zeros na resposta de um sistema
- 3.6 Processos com tempo morto
- 3.7 Processo com interação e sem interação
- 3.8 Processos com múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO)

### **4 Resposta de Sistemas em Malha Fechada**

- 4.1 Representação de diagramas de blocos
- 4.2 Funções de transferência da malha fechada
- 4.3 Resposta de sistemas em malha fechada
- 4.4 Comportamento dinâmico em malha fechada
- 4.5 Análise da estabilidade
- 4.6 Critério de Routh-Hurwitz
- 4.7 Diagrama de lugar das raízes
- 4.8 Critério de desempenho de processos em malha fechada

### **5 Sistemas de Controle Feedback**

- 5.1 Seleção de variáveis controladas, manipuladas e medidas
- 5.2 Projeto de controladores baseado em modelos: síntese direta e IMC
- 5.3 Projeto de controladores para resposta transiente
- 5.4 O controlador PID contínuo e discreto– características e propriedades
- 5.5 Sintonia de controladores PID
- 5.6 Diretrizes para o controle de variáveis de processo

## **6 Projeto e Análise de Controladores Baseado na Resposta Frequencial**

- 6.1 Resposta de processo a uma perturbação senoidal
- 6.2 Diagrama de Bode
- 6.3 Característica de resposta frequencial de controladores
- 6.4 Diagrama de Nyquist
- 6.5 Critérios de Estabilidade: (a) Bode, (b) Nyquist
- 6.6 Margem de fase e margem de ganho
- 6.7 Resposta frequencial e malha fechada e funções de sensibilidade
- 6.8 Análise de robustez
- 6.9 Projeto de controladores baseado em resposta frequencial

## **7 Controle Feedforward e de Razão**

- 7.1 Introdução
- 7.2 Controle de razão
- 7.3 Projeto de controladores *feedforward* baseados em modelos estacionários
- 7.4 Projeto de controladores *feedforward* baseados em modelos dinâmicos
- 7.5 Configurações para controle *feedback-feedforward*
- 7.6 Sintonia de Controladores *feedforward*

## **8 Técnicas de Controle Avançadas**

- 8.1 Controle cascata
- 8.2 Compensação de tempo morto
- 8.3 Controle inferencial
- 8.4 Controle seletivo/*override*
- 8.5 Sistemas de controle não lineares
- 8.6 Controle adaptativo

## **9 Controle de Processos Multivariáveis (MIMO)**

- 9.1 Interações
- 9.2 Pareamento
- 9.3 Análise de valor singular
- 9.4 Sintonia de controladores PID múltiplas malhas
- 9.5 Desacoplamento de estratégias de controle multivariáveis
- 9.6 Estratégias para redução de interação de malhas
- 9.7 Controle preditivo baseado em modelos

## **10 Estudo de Casos**

- 10.1 Estudos de casos com softwares disponíveis

### **6. METODOLOGIA**

A disciplina conterà uma parte de aulas síncrona e outra assíncrona. A disciplina usará a plataforma MS-Teams para as aulas expositivas em sala de aula virtual (aulas síncronas) e também será usada como repositório de aulas assíncronas, listas de tarefas (exercícios, avaliações e trabalhos). Assim, a plataforma MS-Teams será usada para a apresentação da matéria, seja para a resolução de exercícios, seja para a divulgação de aulas e material para aulas assíncronas. As aulas assíncronas poderão utilizar vídeos pré-gravados ou material escrito, e as aulas síncronas ocorrerão sempre ao vivo no horário estabelecido para a

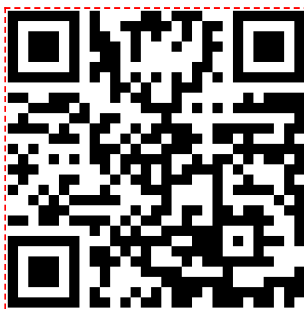
disciplina (e será gravada e ficará disponível nas plataformas virtuais usadas na disciplina). A seção de Estudo de Casos será feita com a ajuda de computadores pessoais e *softwares* livres, Scilab e Sage Math etc. As aulas com atividades de resolução de exercícios serão síncronas. Nas aulas de experimentação de sistemas de controle serão abordados e explorados tópicos de projeto em tempo real de sistemas de controle com implementação em processos reais. Serão exigidos relatórios para o acompanhamento do conteúdo assimilado. Para cada unidade do curso será feita uma ou mais listas de exercícios e todos os aspectos do curso utilizarão recursos de ensino a distância tais como: fórum de discussões sobre a disciplina, bate-papo e atendimento de alunos via internet. Além disso, a disponibilização do curso será feita também na forma eletrônica (teoria, exercícios e tópicos complementares) no sistema MS-Teams, algumas atividades poderão ser realizadas no Moodle hospedado na UFU a depender da conveniência ou disponibilidade do MS-Teams.

As aulas síncronas ocorrerão nas plataformas apresentadas nesse plano conforme descrito abaixo. Toda a programação da disciplina estará disponível na plataforma MS Teams (vídeos e slides das aulas síncronas, slides para interação assíncrona, material para leitura complementar e desenvolvimentos de atividades individuais e links para vídeos sobre tópicos específicos discutidos de forma síncrona ou de material para estudo para aulas assíncronas) ou Moodle (a depender de disponibilidade da plataforma padrão que será o MS-Teams).

A disponibilização de material suplementar será realizada em Ambiente Virtual de Aprendizagem Moodle e MS-Teams nos endereços descritos abaixo.

Moodle: <https://www.moodle.ufu.br/course/view.php?id=5032>

MS Teams: <https://bityli.com/19Zn1B>



**Procedimentos:** as aulas serão desenvolvidas em dois formatos, com cerca de ~80% em atividade síncrona (preferencialmente MS Teams, ou na indisponibilidade do mesmo a plataforma de video conferência da RNP/Mconf, com atividades e tarefas *online*) e ~20% de atividades assíncronas com material distribuído na plataforma da disciplina. A disciplina exigirá o uso de computador com processador e acesso à internet. A comunicação entre docentes e discentes será feita via as plataformas: mensagem de e-mail e plataformas apresentadas na programação no MS-Teams ou Moodle/UFU. As atividades síncronas serão realizadas duas vezes por semana com tempo síncrono de 100 minutos.

Plataformas Virtuais do Curso:

Office 265 Education com e-mail UFU (alunos deverão cadastrar-se na plataforma MS):

Canal da disciplina: <https://bityli.com/19Zn1B>

RNP/MConf: <https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/cpqji-aulas>

Moodle: <https://www.moodle.ufu.br/course/view.php?id=5032>

### **Requisitos para a disciplina**

Computador com acesso a internet, com processador no mínimo de 1,6 GHz (ou superior) (32 bits ou 64 bits), Memória de 2 GB de RAM, Disco rígido de 3 GB de espaço em disco disponível, Display com Resolução de tela 1024 x 768, e Hardware gráfico de no Mínimo de 128 MB de memória gráfica, Sistema operacional Windows Server 2012 R2+, Windows 10 ou Windows 8.1 de 32 bits e 64 bits. Para obter uma

melhor experiência, use a versão mais recente do sistema operacional. Versão do .NET Exige .NET 4.5 CLR ou posterior, Câmera de vídeo USB 2.0 ou dispositivos de câmera de notebook, microfone e alto-falantes padrão.

**Recomendação:** uso de um computador com processador de núcleo duplo de no mínimo 4,0 GB de RAM (ou superior).

a) Atividades síncronas: 4 horas/semanais, totalizando 50 horas no semestre letivo

Horários das atividades síncronas:

Segunda-feira: 14h50min-16h30 (100min)

Terça-feira: 14h50min-16h30 (100min)

Obs.: Na ocorrência de dificuldades da estrutura tecnológica para que a aula ocorra de forma síncrona por algum motivo, a mesma será substituída por vídeo produzido para esse fim para uso assíncrono.

Plataformas de T.I./softwares que serão utilizados: As plataformas que serão utilizadas com informações dos endereços, como os respectivos URL(*Uniform Resource Locator*) estão na seção das plataformas nesse Plano de Ensino.

Softwares: Navegadores Firefox ou Chrome atualizados, Scilab ([www.scilab.org](http://www.scilab.org)), pacotes MS Office disponíveis na Plataforma MS Office 365 Education.

b) Atividades assíncronas: Aulas pré-gravadas e/ou material para estudo. Totalizando 12 horas no semestre letivo

Plataforma de T.I. /softwares que serão utilizados: Leitores de arquivos PDF, pacotes MS Office disponíveis na Plataforma MS Office 365 Education. Caso o(a) estudante desejar salvar os vídeos com conteúdos da disciplina será necessário um software player de vídeo.

Endereço web de localização dos arquivos: Os arquivos serão disponibilizados nos Ambientes eletrônicos descritos e acessíveis no MS-Teams ou Moodle UFU ou ainda outra Plataforma para hospedagem de arquivos (Google Drive ou OneDrive), com links nas salas de aprendizado.

c) Como e onde os discentes terão acesso às referências bibliográficas:

Material de apoio, slides e apostilas utilizados serão disponibilizados no MS-Teams. Os livros utilizados estarão disponíveis em bibliotecas de E-books gratuitos, e os artigos que serão usados estarão disponíveis na plataforma ou o link de onde baixá-lo será disponibilizado.

## 7. AVALIAÇÃO

O Controle de aprendizado da disciplina será feito com listas de exercícios periódicas, trabalhos em grupos e individuais. Além dessas atividades, 2(dois) exames dissertativos (síncronos) serão feitos, um após completar aproximadamente 1/2 do conteúdo programático, e o outro ao final do curso.

A distribuição de pontos será dada por:

- **2 provas** individuais. Peso: 80% da nota final.
- **Trabalhos** com entrega obrigatória no prazo estabelecido. Nos projetos, envolvendo simulação computacional, serão aprofundados conteúdos importantes para o controle de processos químicos. Cada trabalho será realizado em dupla e quando solicitado produzirá conteúdo que deverá ser submetido em data estabelecida diretamente no MS-Teams ou Moodle UFU (conforme indicado). Peso: 15% da nota final.
- **Lista de Exercícios** individuais que deverão ser submetidas no prazo estabelecido. Peso: 05% da nota final.

Será avaliado 100% do conteúdo ministrado durante o semestre especial. Se o aluno faltar a atividade avaliativa de forma síncrona por dificuldade de natureza pessoal ou tecnológica. Então o aluno poderá

realizar a mesma no mesmo formato no prazo máximo de uma semana, em data e horário combinados com o aluno/professor.

**Distribuição global de pontos:** As provas somarão 100 pontos, sendo estes a média aritmética das notas de cada avaliação (100 pontos). Os projetos também somarão 100 pontos, sendo estes a média aritmética das notas de cada projeto (100 pontos). A nota de cada projeto poderá ter um componente individual, baseado na apresentação do seminário e de arguição em data e local previamente estabelecidos.

Critério de aprovação (desde que não reprovado por falta):

**média provas (0-100)\*0,80 + média projetos (0-100)\*0,15 + listas (0-100)\*0,05 ≥ 60**

### **Horário de atendimento e controle de frequência**

*Atendimento extra-classe:* O aluno poderá solicitar atendimento síncrono na plataforma virtual às segundas-feiras (16h45min) e terças-feiras (16h45min) em uma das plataformas do curso.

Questionamentos assíncronos em qualquer dia e horário da semana através de mensagem no chat do MS-Teams ou fórum do Moodle.

*Controle Avaliação e frequência:* divulgado preferencialmente na página do curso do Moodle.

### **Datas das avaliações:**

- Avaliação I – 31 de janeiro – 100min (síncrono), submetida na plataforma MS Teams
- Avaliação II – 29 de março – 100min (síncrono), submetida na plataforma MS Teams.

O controle de presenças será realizado pela entrega de atividades (para as atividades assíncronas e solicitadas) e por controle de presenças na plataforma de aula síncrona.

## **8. BIBLIOGRAFIA**

### **Básica**

- Apostila e slides preparados por Luís Cláudio Oliveira Lopes. FEQUI, 2021.
- SEBORG, D. E., EDGAR, T. F. & MELLICHAMP, D. A., "Process Dynamics and Control", 2nd Edition, John Willey & Sons, 2004.
- SIGHIERI, L., NISHINARI, A., "Controle Automático de Processos Industriais: Instrumentação", Edgard Blücher Ltda, 2a Edição, 1977.
- CONSIDINE, D. M. & CONSIDINE, G. D., "Process Instruments and Control Handbook", 3th Edition, McGraw-Hill, 1989.

### **Complementar**

- STEPHANOPOULOS, G. "Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practices", Prentice-Hall, 1984.
- SMITH, C. & CORRIPIO, B., "Principles and Practice of Automatic Process Control", John Willey & Sons, 3o. ed 2006.
- LUYBEN, W. L., "Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers", 2nd Edition, McGraw-Hill, 1990.
- GREEN, D. W., PERRY, R. H., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 8th ed., McGraw-Hill, USA, 2005.
- McCABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOTT, P. "Unit operations of chemical engineering", 7th ed., McGraw-Hill, 2005.
- TURTON, R., BAILIE, R. C., WHITING, W. B., SHAEIWITZ, J. A. "Analysis, synthesis, and design of chemical processes", Prentice-Hall, 1998.
- Artigos técnicos para tópicos específicos.

## **9. APROVAÇÃO**

Aprovado em reunião do Colegiado realizada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

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



Documento assinado eletronicamente por **Luis Claudio Oliveira Lopes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 09/11/2021, às 16:39, 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 **3160662** e o código CRC **160C83D4**.