

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA****CENTRO TECNOLÓGICO**

Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica

Campus Trindade - CEP 88040-900 - Florianópolis SC

Tel: 48 3721-2260

**PLANO DE ENSINO 2020.2 <sup>1</sup>****I. IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA:**

CÓDIGO	NOME DA DISCIPLINA	HORAS-AULA SEMANAIS		HORAS-AULA SEMESTRAIS
		TEÓRICAS	PRÁTICAS	
EEL7100	Operação de Sistemas de Energia Elétrica	4	0	72 horas

**II. PROFESSOR(ES) MINISTRANTE(S)**

Prof. Antonio José Alves Simões Costa

**III. PRÉ-REQUISITO(S) (Código(s) e nome da(s) disciplina(s))**

EEL7071 | Introdução a Sistemas de Energia Elétrica

**IV. CURSOS PARA OS QUAIS A DISCIPLINA É OFERECIDA**

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Área de Sistemas de Energia Elétrica.

**V. EMENTA**

Estrutura e tipos de estudos de operação de Sistemas Elétricos de Potência; Despacho Econômico de unidades térmicas; consideração de perdas de transmissão; Alocação Ótima de Unidades Geradoras; Fluxo de Potência Ótimo; Despacho Hidrotérmico; Geração renovável não tradicional: geração eólica e fotovoltaica; Controle de Geração e operação interligada; Modelagem em tempo real de sistemas de energia elétrica.

**VI. OBJETIVOS**

Aprofundar o estudo de métodos e técnicas de análise da operação de sistemas de energia elétrica; introduzir métodos de programação da operação de sistemas de energia elétrica, considerando fontes de geração termelétrica, hidrelétrica e eólica; introduzir métodos de operação interligada de grandes redes elétrica e operação em tempo real de sistemas de energia elétrica.

**VII. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO**

**Introdução** - Sistemas Elétricos de Potência: estrutura tradicional, tendências atuais/futuras; tipos de estudos em regime permanente: fluxo de potência; despacho econômico térmico e despacho hidrotérmico; alocação de unidades geradoras; fluxo de potência ótimo; operação em ambiente de mercado.

**Fluxo de potência** – Objetivos dos estudos de Fluxo de Potência; Matrizes de Rede; formulação do problema de fluxo de potência; método de Newton-Raphson para a solução do Fluxo de Potência; Fluxo de Potência Desacoplado Rápido; aplicações.

**Despacho econômico de unidades térmicas** – Características das unidades térmicas convencionais; turbinas a gás; unidades de ciclo combinado; conceitos básicos de Otimização com restrições de igualdade e desigualdade; Alocação Ótima de Unidades Geradoras: objetivos e conexão com o Despacho Econômico; o problema de Despacho Econômico; consideração das perdas na transmissão; fórmula geral das perdas; fatores de penalidade; equações de coordenação das unidades térmicas.

**Fluxo de Potência Ótimo** – representação da rede elétrica no problema de operação ótima; formulação do problema de fluxo de potência ótimo não-linear e linearizado; condições necessárias; métodos de solução; efeitos dos limites de transmissão e de perdas de transmissão sobre os custos marginais de barra.

**Despacho hidrotérmico:** Programação da operação a longo, médio e curto prazos; características de unidades hidrelétricas; principais problemas de coordenação hidrotérmica de curto prazo; modelagem das variáveis hidráulicas e consideração de metas energéticas; programação hidrotérmica de curto prazo para sistemas reais: estratégias baseadas em metas de volume e em funções de custo futuro.

**Fontes renováveis não tradicionais**– Geração eólica; tipos de turbinas eólicas, relação entre potência e velocidade do vento; geradores eólicos; parques eólicos; Princípios da geração fotovoltaica; sistemas fotovoltaicos; conexão à rede elétrica.

**Operação de Sistemas Elétricos Interligados** – Controle de velocidade de geradores síncronos: malhas de controle; reguladores de velocidade e controle primário; operação interligada de sistemas elétricos e Controle Automático de Geração; controle com polarização de frequência e outras estratégias de controle interligado.

<sup>1</sup> Plano de ensino adaptado, em caráter excepcional e transitório, para substituição de aulas presenciais por aulas em meios digitais, enquanto durar a pandemia do novo coronavírus – COVID-19, em atenção à Resolução Normativa 140/2020/CUn.

**Operação em Tempo Real de Sistemas de Energia Elétrica** - Sistema SCADA; estados de operação; principais funções da análise de segurança em tempo real; modelagem em tempo real: estimação de estados; solução via método de Gauss-Newton; exemplos usando modelo linearizado para a rede elétrica.

## VIII. METODOLOGIA DE ENSINO / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

A metodologia de ensino a ser adotada consistirá de:

- *Atividades remotas síncronas*, realizadas nos horários estabelecidos na grade horária, para apresentação, explicação e ilustração, mediante exemplos, dos tópicos abordados, bem como da discussão dos resultados das avaliações (ver item X);
- *Atividades assíncronas*, viabilizadas através da disponibilização de gravações das atividades síncronas e de trabalhos/listas de exercícios versando sobre os tópicos abordados na atividade síncrona mais recente.

As atividades síncronas serão conduzidas em regime de tele-trabalho via aplicativo para videoconferências *Google Meet*, associado à plataforma G Suite da Google, disponibilizada pelo SETIC da UFSC. O *hardware* a ser utilizado será composto por: um computador tipo *notebook* Sony VAIO equipado com processador Intel Core i5(2 núcleos) 2410M (2,3GHz), 8 GB de memória DDR3, SSD de 446 GB; webcam LifeCam VX 2000 da Microsoft, e mesa digitalizadora Wacom Intuos CTL-4100.

Os itens do conteúdo programático serão apresentados aos alunos nas atividades remotas síncronas com o auxílio de *slides* e páginas das notas de aula via compartilhamento de tela com os alunos. A interação com estes será viabilizada via mecanismo de *chat* disponível na plataforma de vídeoconferências, bem como inquirições à audiência sobre o entendimento dos conteúdos realizadas a intervalos regulares. A mesa digitalizadora será usada nas atividades remotas para emular um quadro-verde na resolução de exercícios e para a anotação/realce de conteúdos sobre telas geradas a partir das notas de aula e *slides*.

O ambiente virtual de aprendizado (AVA) para as atividades assíncronas será constituído por: (a) plataforma Moodle disponibilizada pelo SETIC/UFSC, através do qual serão feitas as postagens aos alunos dos links das aulas gravadas, de trabalhos e de listas de exercícios relativos aos tópicos abordados nas atividades síncronas; (b) página da disciplina na Internet (<https://simoes.sites.ufsc.br/fc/index.html>), que servirá de repositório dos conteúdos da disciplina (notas de aula, slides, exercícios, etc.), e (c) comunicação via e-mail para eventual esclarecimento de dúvidas específicas sobre os conteúdos ministrados e trabalhos aplicados.

Para ambientação dos alunos aos novos instrumentos e metodologia de ensino, será utilizado o período de revisão dos conteúdos ministrados presencialmente nas duas primeiras semanas de aula de março de 2020.

## IX. ATIVIDADES PRÁTICAS

Não há

## X. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E CONTROLE DE FREQUÊNCIA

**Descrever os procedimentos que serão empregados com vistas à avaliação do desempenho dos alunos em relação ao proposto pela disciplina.**

O desempenho dos alunos será avaliado mediante instrumentos assíncronos, baseados em trabalhos computacionais envolvendo o uso de aplicativos de propósito específico fornecidos pelo professor, de trabalhos de simulação e listas de exercícios, aplicados ao longo do curso, conforme detalhado no cronograma anexo. Os resultados descritos nos relatórios submetidos pelos alunos serão discutidos conjuntamente após sua correção. Serão aplicados oito trabalhos, com nível de dificuldade tanto quanto possível uniforme. A nota final será calculada como a média aritmética simples das notas individuais dos oito trabalhos computacionais.

**Identificação do controle de frequência das atividades.**

O controle de frequência dos alunos será exercido mediante verificação de sua participação não apenas nas atividades síncronas, mas também na submissão dos relatórios associados aos trabalhos computacionais aplicados ao longo do semestre letivo.

## XI. LEGISLAÇÃO

Não será permitido gravar, fotografar ou copiar as aulas disponibilizadas no Moodle. O uso não autorizado de material original retirado das aulas constitui contrafação – violação de direitos autorais – conforme a Lei nº 9.610/98 – Lei de Direitos Autorais.

## XI. REFERÊNCIAS

### BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- Simões Costa A., *Notas de aula de Planejamento da Operação de Sistemas Elétricos de Potência*, UFSC, 2011.

#### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- Wood A.J. e Wollenberg B.F., Power Generation, Operation and Control, John Wiley & Sons, New York, NY, 2a. edição, 1996.
- Kirschen D.S. e Strbac G., Fundamentals of Power System Economics, Wiley, 2004.
- Schweppe F.C. Caramanis M.C., Tabors R.D. e Bohn R.E., Spot Pricing of Electricity, Kluwer Academic, Boston, MA, 1987.

#### OUTRAS REFERÊNCIAS

- <https://simoes.sites.ufsc.br/plnjop/plnjop.html> - Página da disciplina na Internet contendo notas de aula, slides, exercícios e material adicional relacionado à disciplina, mantida pelo ministrante.
  - Simões Costa A., Slides da disciplina “Tópicos Especiais em Sistemas de Energia Elétrica II” do Programa de Pós-Graduação em Eng. Elétrica da UFSC sobre Geração Eólica, Geração Fotovoltaica e Armazenamento de Energia, 2019.
  - Overbye, T., “Power System Analysis Course PowerPoint Slides”, University of Illinois, 2016 (slides livremente disponibilizados pelo autor).
-

## Cronograma

Semana	Data	CH <sup>(*)</sup>	
1	01/02	S: 1,0 h A: 2,0 h	Apresentação do planejamento didático, plano de ensino e metodologia de ensino a ser adotada ao longo do semestre letivo; apresentação das plataformas de interação e AVA a serem utilizadas. Introdução à operação de Sistemas de Energia Elétrica (Cap. 1)
1-2	04/02 a 11/02	S: 3,0 h A: 4,0 h	Fluxo de potência: Objetivos; Matrizes de Rede; formulação do problema; método de Newton-Raphson; Fluxo de Potência Desacoplado Rápido; aplicações. <i>Proposição de Exercício Computacional 1: Aplicações de Fluxo de Pot. à operação de SEE.</i>
3-5	18/02 a 01/03	S: 4,0 h A: 4,0 h	Despacho econômico de unids. Térmicas: Características das unids. térmicas; conceitos de Otimização com restrições; noções de alocação ótima de unids. Geradoras; solução do Despacho Econômico; consideração das perdas na transmissão. Discussão dos resultados do Exercício Computacional 1. <i>Proposição de Exercício Computacional 2: Despacho Ótimo de Unidades Térmicas</i>
5-7	04/03 a 15/03	S: 4,0 h A: 6,0 h	Fluxo de Potência Ótimo: formulação matemática; efeitos de limites de transmissão sobre custos marginais de barra na solução ótima; efeitos de perdas de transmissão sobre CMBs. Discussão dos resultados do Exercício Computacional 2. <i>Proposição de Exercício Computacional 3: Efeitos de congestionamentos de transmissão sobre o despacho ótimo.</i>
7-9	18/03 a 29/03	S: 4,0 h A: 6,0 h	Programação Hidrotérmica: horizontes de planejamento hidrotérmico; despacho HT com restrição de energia e Programação HT de curto prazo; modelagem de variáveis hidráulicas e consideração de metas energéticas, metas de volume e função de custo futuro. Discussão dos resultados do Exercício Computacional 3. <i>Proposição de Exercício Computacional 4: Programação Hidrotérmica em horizonte de 24h</i>
9-12	01/04 a 19/04	S: 6,0 h A: 7,0 h	Fontes renováveis não-convencionais - energias eólica e fotovoltaica: geração eólica; tipos de turbinas eólicas, relação entre potência e velocidade do vento; geradores eólicos; parques eólicos; princípios da geração fotovoltaica; sistemas FVs; conexão à rede elétrica. Discussão dos resultados do Exercício Computacional 4; <i>Proposição de Exercício Computacional 5: Geração Eólica e Fotovoltaica.</i>
12-14	22/04 a 03/05	S: 4,0 h A: 5,0 h	Operação de Sistemas Elétricos Interligados: controle primário de frequência e controle automático de geração. Discussão dos resultados do Exercício Computacional 5. <i>Proposição de Exercício Computacional 6: controle primário e secundário de frequência em sistemas interligados.</i>
14-16	06/05 a 17/05	S: 4,0h A: 5,0h	Operação em Tempo Real de Sistemas de Potência: sistemas SCADA, estimação de estados em sistemas de potência, processamento de erros grosseiros. Discussão dos resultados do Exercício Computacional 6. <i>Proposição de Exercício Computacional 7: Estimação de estados e processamento de erros grosseiros.</i>
16	20/05	S: 1,0 h A: 2,0 h	Eventuais atividades de recuperação de desempenho. Discussão dos resultados do Exercício Computacional 8.

(\*) S: aula síncrona; A: atividade assíncrona