

PLANO DE ENSINO

Disciplina:	Tópicos em Sistemas de Energia Elétrica (TSEE) – Redes elétricas inteligentes
Curso:	Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Computação
Carga horária:	64 horas-aula (4 horas semanais)
Docentes responsáveis:	Raul Vitor Arantes Monteiro - raulvitoramonteiro@gmail.com
Dias/horário da disciplina:	Sexta-feira das 14:50 às 18:30 horas
Modalidade:	Híbrido
Semestre letivo/Ano:	2º/2026

1. OBJETIVOS

Ao concluir os estudos nesta disciplina, o estudante deverá estar apto a:

- Compreender os conceitos, evolução e desafios das redes elétricas inteligentes;
- Analisar as tecnologias, incluindo sensores, sistemas de comunicação, medição, automação, controle e segurança cibernética;
- Explorar os sistemas de gerenciamento de energia (EMS) e de distribuição (ADMS), para a operação das redes inteligentes;
- Analisar estratégias de resposta/gerenciamento à demanda, considerando a participação de fontes renováveis;
- Avaliar os benefícios, desafios e impactos das redes elétricas inteligentes nas redes de distribuição;
- Desenvolver a capacidade de análise crítica e visão estratégica sobre a transição energética, considerando aspectos técnicos, regulatórios e ambientais.

2. EMENTA

Introdução às redes elétricas inteligentes; Características das redes elétricas inteligentes; Tecnologias de redes elétricas inteligentes; Infraestrutura de Medição Avançada (AMI); Operação de redes elétricas inteligentes; Resposta à demanda e gerenciamento pelo lado da demanda; Sistemas de gerenciamento da energia (EMS) e de distribuição (ADMS); Benefícios das redes elétricas inteligentes.

3. PROGRAMA

Unidade de Ensino	Título da Unidade	Objetivos
Unidade I	Fundamentos das Redes Elétricas Inteligentes	Compreender a evolução dos sistemas elétricos e os conceitos fundamentais das Redes elétricas inteligentes, bem como sua arquitetura e funcionamento.
Unidade II	Infraestrutura de Comunicação e Medição Inteligente	Estudar os sistemas de comunicação e as tecnologias de medição que viabilizam a operação das redes inteligentes.

Unidade III	Automação e Integração da Geração Distribuída	Analisar os sistemas de automação da distribuição e os impactos da inserção de fontes renováveis nas redes elétricas.
Unidade IV	Microrredes e Sistemas de Armazenamento de Energia	Compreender o funcionamento das microrredes e das tecnologias de armazenamento de energia aplicadas às Redes elétricas inteligentes.
Unidade V	Mobilidade Elétrica e Gestão Inteligente da Demanda	Avaliar os impactos dos veículos elétricos e das estratégias de gerenciamento da demanda sobre a operação das redes inteligentes.
Unidade VI	Transformação Digital das Redes Elétricas Inteligentes	Estudar as tecnologias digitais emergentes que impulsionam a modernização das Redes elétricas inteligentes.
Unidade VII	Segurança, Operação e Otimização das Redes elétricas inteligentes	Discutir aspectos relacionados à segurança cibernética, operação e otimização dos sistemas elétricos inteligentes.
Unidade VIII	Tendências Tecnológicas e Pesquisa em Redes elétricas inteligentes	Apresentar as principais tendências tecnológicas e desenvolver competências para pesquisa científica na área de Redes elétricas inteligentes.

4. METODOLOGIA DE ENSINO

No processo ensino-aprendizagem desta disciplina, o docente utilizará os seguintes meios:

- Aulas expositivas utilizando apresentação de slides;
- Análise de trabalhos científicos de alta relevância;
- Simulação computacional;
- Apresentações orais dos discentes.

5. AVALIAÇÃO E CONTROLE DA FREQUÊNCIA

a) Serão realizadas três atividades avaliativas:

(1) A primeira (V1) será sobre a apresentação de um artigo científico relacionado a um tema escolhido pelo docente responsável pela disciplina. O docente irá determinar qual tema cada discente deverá apresentar. Nesta atividade, na segunda metade de cada aula, todos os discentes deverão explicar, em forma de apresentação, uma das partes dos artigos: Primeira aula, procura dos artigos e aceite do professor; segunda aula: apresentação do tema e resumo do artigo; terceira aula: introdução; quarta aula: estado da arte; quinta aula: metodologia; sexta aula: resultado, discussões e conclusão. Os temas versarão sobre tendências tecnológicas em pesquisa em redes elétricas inteligentes. Os discentes deverão explicar de quais maneiras cada elemento textual foi desenvolvido pelos autores;

(2) Na segunda atividade avaliativa (V2), cada discente deverá fazer uma revisão sistemática das da inserção de seus temas de pesquisa no âmbito das redes elétricas inteligentes. Essa atividade será extra-classe e, o docente poderá orientar os discentes mediante hora marcada. Ao fim, deverão fazer uma apresentação, em sala, de no máximo 20 minutos e entregar um trabalho escrito;

(3) A terceira atividade avaliativa (V3), será relacionada ao dimensionamento e simulação de uma microrrede. Essa atividade poderá ser individual ou em grupo, ficando à critério do professor. Os alunos receberão as instruções básicas para o dimensionamento e simulação de uma microrrede. A microrrede será dimensionada por meio dos *softwares* HOMER e OpenDSS. Uma apresentação dos resultados deverá ser realizada em aula e um relatório discutindo os resultados deverá ser entregue.

b) Todas as atividades tem peso 1.

c) A média final será composta pela média aritmética simples das 3 avaliações:

$$MF = \frac{V1 + V2 + V3}{3}$$

d) Será aprovado na disciplina o aluno que obtiver média final igual ou superior a 6,0 (seis) (conceito C) e frequência igual ou superior a 75% da carga horária (CH) da disciplina

6. CRONOGRAMA

a) As aulas presenciais serão feitas de maneira modular, ou seja, serão 1 encontro de 16 horas e, 1 de 20 horas totalizando 36 horas presenciais. Essas aulas ocorrerão pela manhã (09:00 – 12:30 hr) e tarde (14:50 – 18:30 hr) as sextas e sábados.

b) As aulas *on-line* totalizarão 28 horas e serão realizadas as sextas-feiras, das 14:50 às 18:30 horas pelo google meet.

Aula	Tema	Objetivos	Principais conteúdos
1	Apresentação do plano de ensino e critérios de avaliação. Introdução às Redes Elétricas Inteligentes	Apresentar os conceitos fundamentais e contextualizar a evolução dos sistemas elétricos.	Evolução dos sistemas elétricos; desafios atuais; conceito de Smart Grid; características; comparação entre redes convencionais e inteligentes; benefícios; tendências mundiais.
2	Arquitetura das Redes elétricas inteligentes	Compreender a arquitetura física, lógica e funcional das redes inteligentes.	Arquitetura em camadas; fluxo bidirecional de energia e informação; infraestrutura elétrica, computacional e de comunicação; interoperabilidade; modelos de referência.

3	Integração da Geração Distribuída	Analisar os impactos da inserção de fontes renováveis nas redes inteligentes.	Energia solar; eólica; biomassa; PCHs; inversores inteligentes; fluxo reverso; controle de tensão; proteção; estudos de impacto.
4	Medição Inteligente e Infraestrutura AMI	Compreender o funcionamento da infraestrutura de medição avançada.	<i>Smart Meters</i> ; AMI; telemedição; tarifação inteligente; gerenciamento do consumidor; privacidade dos dados; casos de implantação.
5	Automação dos Sistemas de Distribuição	Estudar a automação aplicada aos sistemas elétricos de distribuição.	SCADA; EMS; DMS; IEDs; RTUs; religadores; bancos de capacitores; reguladores automáticos; FLISR; <i>Self-Healing</i> .
6	Tecnologias de Comunicação para Redes elétricas inteligentes	Estudar os sistemas de comunicação utilizados nas redes inteligentes.	PLC; fibra óptica; Wi-Fi; ZigBee; LoRaWAN; LTE; 5G; protocolos IEC 61850, DNP3, MQTT e Modbus; sincronização temporal.
7	Microrredes	Estudar a estrutura e operação das microrredes.	Conceitos; operação conectada e ilhada; controle primário, secundário e terciário; estratégias operacionais; comunidades energéticas.
8	Sistemas de Armazenamento de Energia	Conhecer as principais tecnologias de armazenamento e suas aplicações.	Baterias; supercapacitores; hidrogênio; <i>flywheels</i> ; bombeamento hidráulico; baterias de segunda vida; integração às Redes elétricas inteligentes.
9	Veículos Elétricos nas Redes Inteligentes	Avaliar os impactos da mobilidade elétrica no sistema elétrico.	Tipos de veículos; infraestrutura de recarga; <i>Smart Charging</i> ; V2G; V2H; V2B; planejamento da rede; estudos de caso.
10	Gestão Inteligente da Demanda	Compreender técnicas de gerenciamento da demanda e eficiência energética.	<i>Demand Response</i> ; tarifas dinâmicas; <i>Peak Shaving</i> ; <i>Load Shifting</i> ; consumidor ativo; mercado de flexibilidade.
11	Inteligência Artificial aplicada às Redes elétricas inteligentes	Apresentar aplicações da IA na operação e planejamento das redes elétricas.	<i>Machine Learning</i> ; <i>Deep Learning</i> ; <i>Reinforcement Learning</i> ; previsão de carga; previsão renovável; manutenção preditiva; diagnóstico de falhas; IA Generativa.
12	Big Data, IoT e Digital Twins	Estudar as tecnologias digitais que suportam as Redes elétricas inteligentes.	IoT; <i>Edge Computing</i> ; <i>Cloud Computing</i> ; <i>Big Data</i> ; análise de dados; <i>Digital Twins</i> ; sensoramento inteligente.
13	Cibersegurança em Redes Elétricas Inteligentes	Discutir os principais desafios relacionados à segurança cibernética.	Ameaças; ataques; infraestrutura crítica; criptografia; autenticação; IEC 62351; estratégias de proteção.
14	Operação, Planejamento e Otimização	Apresentar métodos modernos de operação e otimização de sistemas elétricos.	Fluxo de potência; fluxo ótimo; reconfiguração; localização ótima de equipamentos; algoritmos evolutivos; metaheurísticas; controle em tempo real.
15	Seminários V2	Desenvolver análise crítica da literatura recente em relação ao tema de pesquisa do discente.	Apresentação e discussão de artigos de periódicos de alto impacto; identificação de lacunas de pesquisa; debates científicos voltados ao tema de pesquisa

			individual de cada discente.
16	Apresentação V3	Consolidar os conhecimentos adquiridos na disciplina.	Apresentação das simulações.

7. BIBLIOGRAFIA BÁSICA

BUCHHOLZ, B. M. **Smart Grids Fundamentals**. Editora Springer, 2014. *E-book*.

CALLEJO, L. H. Microrredes eléctricas: Integración de generación renovable distribuida, almacenamiento distribuido e inteligencia. Ibergarceta Publicaciones, 2019, 558 p. ISBN 8416228728.

CHOWDHURY, S.; CHOWDHURY, S. P.; CROSSLEY, P. Microgrids and Active Distribution Networks. Institution of Engineering and Technology, 2009, 297 p. ISBN 1849190143.

MAH, D.; HILLS, P.; LI, V. O. K.; BALME, R. Smart grid applications and developments. Green Energy and Technology. 1st ed. Springer, 2014.

MONTEIRO, R. V. A. Inteligência artificial aplicada às smart grids. Blucher, 2024, 246 p. ISBN 978-65-5550-338-8. <<https://openaccess.blucher.com.br/article-list/9786555503395-645/list/#undefined>>.

SOUZA, A. C. Z.; BONATTO, B. D.; RIBEIRO, P. F. Integração de renováveis e redes elétricas inteligentes. 1. ed. Interciência, 2020. ISBN 9786599025204.

8. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Atlas de energia elétrica do Brasil. 2ª Ed. Brasília - DF. 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Procedimentos de Distribuição de Energia elétrica: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Versão 12, de 01/01/2021.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Projetos de P&D em Energia Elétrica. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/projetos-de-p-d-em-energia-eletrica>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Resolução normativa n° 235. Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Sistema de informação da geração da ANEEL Siga. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNjc4OGYyYjQtYWZWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiJR9>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Procedimentos de Distribuição: Cartilha de Acesso ao Sistema de Distribuição. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/audiencias-publicas-antigas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=1269&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica_W>.

AR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp >.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Procedimentos de Distribuição: Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição. Disponível em: < https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_2.pdf>.

BRASIL. Decreto 5.163, de 30 de Julho de 2004: Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário oficial da união de 30/07/2004**. Brasília, 30 de julho de 2004; 183° da Independência e 116° da República.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União de 05/08/2022**. Brasília, 4 de agosto de 2022; 201° da Independência e 134° da República.

BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União de 25/07/2000**. Brasília, 24 de julho de 2000; 179° da Independência e 112° da República.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Estudos do plano decenal de expansão de energia 2031 – Micro e minigeração distribuída & baterias**. Jul. 2021.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Plano nacional de energia – 2050**. Disponível em < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em fevereiro de 2024.