



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA



## FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

## COURSE OUTLINE

<b>CÓDIGO / COURSE CODE :</b>		<b>COMPONENTE CURRICULAR / COURSE TITLE :</b> Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição / Technical Losses in Electrical Distribution Systems		
<b>UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE / ORGANIZATION :</b> Faculdade de Engenharia Elétrica - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica Faculty of Electrical Engineering - Postgraduate Program in Electrical Engineering				<b>SIGLA / ACRONYM :</b> FEELT - PPGEELT
<b>CH TOTAL TEÓRICA / LECTURE HOURS :</b> 45 horas / hours	<b>CH TOTAL PRÁTICA / LABORATORY HOURS :</b> 0 horas / hours	<b>CH TOTAL / TOTAL HOURS :</b> 45 horas / hours	<b>CRÉDITOS / CREDITS :</b> 3	<b>TIPO / TYPE:</b> Optativa / Elective
<b>Curso / Degree :</b> Mestrado e Doutorado / Master and PhD		<b>Requisito / Requirement :</b> Sem requisitos / No Requirements		

## 1. OBJETIVOS / STUDY GOALS

1. Compreender os conceitos fundamentais relacionados às perdas técnicas em sistemas de distribuição de energia elétrica, assim como a regulamentação vigente.
2. Analisar os fatores que contribuem para as perdas técnicas em sistemas de distribuição, identificando suas principais fontes e impactos.
3. Conhecer e aplicar métodos de medição e cálculo para avaliar as perdas técnicas em sistemas de distribuição em situações práticas.
4. Analisar as estratégias e tecnologias disponíveis para minimizar as perdas técnicas em sistemas de distribuição.
5. Sintetizar soluções inovadoras para a redução de perdas técnicas, considerando as características específicas de diferentes sistemas de distribuição.
6. Avaliar criticamente a eficácia de diferentes abordagens na gestão e controle das perdas técnicas em sistemas de distribuição.
7. Aplicar ferramentas computacionais e simulações para modelar e otimizar sistemas de distribuição visando a minimização de perdas técnicas.
8. Compreender o papel das tecnologias inteligentes e automação na gestão eficiente das perdas técnicas em sistemas de distribuição.

Esses objetivos abrangem desde a compreensão básica dos conceitos até a aplicação prática, análise crítica e síntese de conhecimentos avançados. Eles fornecem uma base sólida para o desenvolvimento do currículo, escolha de estratégias de ensino e formulação de avaliações, ao mesmo tempo em que orientam os alunos sobre as expectativas do curso.

1. Understand the fundamental concepts related to technical losses in electrical distribution systems, as well as current regulations.
2. Analyze the factors contributing to technical losses in distribution systems, identifying their main sources and impacts.
3. Acquire and apply measurement and calculation methods to evaluate technical losses in distribution systems in practical situations.
4. Analyze available strategies and technologies to minimize technical losses in distribution systems.
5. Synthesize innovative solutions for reducing technical losses, considering the specific characteristics of different distribution systems.
6. Critically evaluate the effectiveness of various approaches in the management and control of technical losses in distribution systems.
7. Apply computational tools and simulations to model and optimize distribution systems aiming at minimizing technical losses.
8. Understand the role of intelligent technologies and automation in the efficient management of technical losses in distribution systems.

These goals encompass a basic understanding of concepts to practical application, critical analysis, and synthesis of advanced knowledge. They provide a solid foundation for curriculum development, selection of teaching strategies, and formulation of assessments while guiding students on course expectations.

## 2. EMENTA / COURSE CONTENTS

Aspectos gerais da regulamentação das perdas técnicas em sistemas de distribuição, representada pelo módulo 7 dos Procedimentos de Distribuição da ANEEL, com ênfase no processo de modelagem e cálculo das perdas técnicas através de estudos de fluxo de carga nas frequências fundamental e harmônicas, utilizando-se o *software OpenDSS*. Aplicação dos conceitos obtidos no cálculo de perdas técnicas considerando-se situações reais de distribuidoras brasileiras. Análise crítica e compreensão de aspectos correlacionados às diferentes metodologias para cálculo das perdas técnicas, assim como avaliação das tecnologias inteligentes e automação na gestão eficiente das perdas técnicas em sistemas de distribuição.

General aspects of the regulation of technical losses in electrical distribution systems, represented by Module 7 of the Distribution Procedures (PRODIST) established by the Brazilian Electricity Regulatory Agency (ANEEL), with an emphasis on the modeling and calculation process of technical losses through load flow studies in fundamental and harmonic frequencies, using the *OpenDSS* software. Application of the concepts acquired in the calculation of technical losses, considering real situations in Brazilian distribution companies. Critical analysis and understanding of aspects related to different methodologies for calculating technical losses, as well as evaluation of intelligent technologies and automation in the efficient management of technical losses in distribution systems.

## 3. PROGRAMA / PROGRAM

### 1. Disposições gerais para o cálculo de perdas na distribuição.

- 1.1. Dados e informações necessárias para o cálculo das perdas na distribuição.
- 1.2. Parâmetros regulatórios.
- 1.3. Etapas do cálculo das perdas técnicas.

### 2. Metodologia de cálculo das perdas técnicas.

- 2.1. Período de apuração das perdas na distribuição.
- 2.2. Método de cálculo perdas apuradas por sistema de medição.
- 2.3. Perdas em transformadores de potência.
- 2.4. Perdas apuradas por fluxo de potência.
- 2.5. Perdas em medidores.
- 2.6. Caracterização da carga.

### 3. Aspectos avançados sobre o cálculo das perdas técnicas.

- 3.1. Impacto das cargas não-lineares nas perdas técnicas da distribuição.
- 3.2. Impacto das cargas desequilibradas nas perdas técnicas da distribuição.

### 4. Procedimento de cálculo.

- 4.1. Cálculo de perda de energia no SDAT.
- 4.2. Cálculo de perda de energia no SDMT e no SDBT.
- 4.3. Indicadores de perdas.
- 4.4. Informações para o cálculo dos indicadores de perdas.
- 4.5. Metodologia de cálculo das perdas técnicas em ramais de ligação no caso de medição externa.
- 4.6. Valores regulatórios das perdas dos transformadores de distribuição.
- 4.7. Valores regulatórios da resistência dos cabos do sistema de distribuição.

### 5. Cálculo das perdas técnicas através de estudos de fluxo de carga e harmônico através do software *OpenDSS*.

- 5.1. Introdução do *OpenDSS*.
- 5.2. Modelagem das cargas elétricas da distribuição no domínio da frequência.
- 5.3. Modelagem de redes de distribuição em baixa tensão.
- 5.4. Modelagem de redes de distribuição em média tensão.
- 5.5. Modelagem de sistemas de distribuição em alta tensão (Subtransmissão).
- 5.6. Estudos de casos utilizando-se sistemas reais de distribuição de energia elétrica.

### 1. General aspects related to the technical distribution losses calculation.

1.1. Data and information required for distribution loss calculation.

1.2. Regulatory parameters.

1.3. Steps of technical losses calculation.

## **2. Methodology for calculating technical losses.**

2.1. Losses calculation period in distribution.

2.2. Method for calculating losses by measurement system.

2.3. Losses in power transformers.

2.4. Losses calculated by power flow.

2.5. Losses in revenue metering systems.

2.6. Losses in capacitor banks.

2.7. Load characterization.

## **3. Advanced aspects of technical losses calculation.**

3.1. Impact of non-linear loads on distribution technical losses.

3.2. Impact of unbalanced loads on distribution technical losses.

## **4. Calculation procedures.**

4.1. Calculation of energy loss in High Voltage Distribution Systems (HVDS).

4.2. Calculation of energy loss in Medium Voltage Distribution Systems (MVDS) and in Low Voltage Distribution Systems (LVDS).

4.3. Losses indexes.

4.4. Information for calculating loss indexes.

4.5. Methodology for calculating technical losses in connection branches in the case of external measurement.

4.6. Regulatory values for distribution transformer losses.

4.7. Regulatory values for cable resistance in the distribution system.

## **5. Calculation of technical losses through load flow and harmonic studies using the OpenDSS software.**

5.1. Introduction to OpenDSS.

5.2. Modeling electrical loads in the distribution in the frequency domain.

5.3. Modeling low-voltage distribution networks.

5.4. Modeling medium-voltage distribution networks.

5.5. Modeling high-voltage sub-transmission distribution systems.

5.6. Case studies using real electric distribution systems.

## **4. BIBLIOGRAFIA BÁSICA / TEXT BOOK**

1. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição.** Brasília - DF: ANEEL, 2021.

2. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.** Brasília - DF: ANEEL, 2021.

3. DUGAN, Roger. **Reference Guide - The Open Distribution System Simulator (OpenDSS).** Revision 7.6 [S.l.]: EPRI Electric Power Research Institute, 2016. 184 p.

4. BENEDICT, E. *et al.* **Losses in Electric Power Systems.** Purdue University - Purdue e-Pubs, ECE Technical Reports, 1992.

5. GONEN, T. **Electric Power Distribution System Engineering.** 2ª Ed. [S.l.]: CRC Press, 2007. 856 p.

6. MALIK, Sallam. **Electric Distribution Systems.** 2ª Ed. [S.l.]: IEEE Press - Willey & Sons, 2018. 930 p.

7. KERSTING, William H. **Distribution System Modeling and Analysis.** [S.l.]: CRC Press, 2012. 455 p.

1. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição.** Brasília - DF: ANEEL, 2021.

2. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.** Brasília - DF: ANEEL, 2021.

3. DUGAN, Roger. **Reference Guide - The Open Distribution System Simulator (OpenDSS).** Revision 7.6 [S.l.]: EPRI Electric Power Research Institute, 2016. 184 p.

4. BENEDICT, E. *et al.* **Losses in Electric Power Systems.** Purdue University - Purdue e-Pubs, ECE Technical Reports, 1992.

5. GONEN, T. **Electric Power Distribution System Engineering.** 2ª Ed. [S.l.]: CRC Press, 2007. 856 p.

6. MALIK, Sallam. **Electric Distribution Systems**. 2ª Ed. [S./]: IEEE Press - Willey & Sons, 2018. 930 p.

7. KERSTING, William H. **Distribution System Modeling and Analysis**. [S./]: CRC Press, 2012. 455 p.

#### 5. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR / ADDITIONAL READING

1. BARBECHO, P.; ALBIZU, I.; BEDIALAUNETA, M. T.; FERNANDEZ, E.; CASTILLO, P. Optimal location of distributed generation to reduce power losses. *In: 2023 INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLEAN ELECTRICAL POWER (ICCEP), 2023, Terrasini, Italy. Anais [...]* EUA: IEEE, 2023. p. 606 - 611. DOI: 10.1109/ICCEP57914.2023.10247477.

2. NEAGU, B. C.; GRIGORAS, G.; LIVADARIU, R. Additional Power Losses Estimation in Harmonic Polluted LV Distribution Grid using a Ward's Hierarchical Clustering Method. *In: 15<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, COMPUTERS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE (ECAI), 15., 2023, Bucharest, Romania. Anais [...]* EUA: IEEE. p. 1 - 5. DOI: 10.1109/ECAI58194.2023.10193906.

3. NOVAIS, I. F.; MACEDO, J. R. Assessment of the Performance of Active Energy Meters Under Unbalanced Conditions. **IEEE Access**, vol. 11, p. 56526-56537, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3278595.

4. XAVIER, G. L.; MIYASAKA, G.; SILVÉRIO, E. T. *et al.* An update on the performance of reactive energy meters under non-sinusoidal conditions. **Electrical Engineering**, vol. 102, p. 1881 - 1891, 2020. DOI: 10.1007/s00202-020-00970-3.

5. MACEDO, J. R., XAVIER, G. L., GONDIN, I. N. *et al.* An update on the performance of active energy meters under non-sinusoidal conditions. **Electrical Engineering**, vol. 102, p. 1785 - 1794, 2020. DOI: 10.1007/s00202-020-00991-y.

1. BARBECHO, P.; ALBIZU, I.; BEDIALAUNETA, M. T.; FERNANDEZ, E.; CASTILLO, P. Optimal location of distributed generation to reduce power losses. *In: 2023 INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLEAN ELECTRICAL POWER (ICCEP), 2023, Terrasini, Italy. Anais [...]* EUA: IEEE, 2023. p. 606 - 611. DOI: 10.1109/ICCEP57914.2023.10247477.

2. NEAGU, B. C.; GRIGORAS, G.; LIVADARIU, R. Additional Power Losses Estimation in Harmonic Polluted LV Distribution Grid using a Ward's Hierarchical Clustering Method. *In: 15<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, COMPUTERS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE (ECAI), 15., 2023, Bucharest, Romania. Anais [...]* EUA: IEEE. p. 1 - 5. DOI: 10.1109/ECAI58194.2023.10193906.

3. NOVAIS, I. F.; MACEDO, J. R. Assessment of the Performance of Active Energy Meters Under Unbalanced Conditions. **IEEE Access**, vol. 11, p. 56526-56537, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3278595.

4. XAVIER, G. L.; MIYASAKA, G.; SILVÉRIO, E. T. *et al.* An update on the performance of reactive energy meters under non-sinusoidal conditions. **Electrical Engineering**, vol. 102, p. 1881 - 1891, 2020. DOI: 10.1007/s00202-020-00970-3.

5. MACEDO, J. R., XAVIER, G. L., GONDIN, I. N. *et al.* An update on the performance of active energy meters under non-sinusoidal conditions. **Electrical Engineering**, vol. 102, p. 1785 - 1794, 2020. DOI: 10.1007/s00202-020-00991-y.

#### 6. APROVAÇÃO / APPROVAL

Ficha de Disciplina homologada na 366ª Reunião Ordinária do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Curricular Component approved at 366th Regular Board Meeting of the Postgraduate Program in Electrical Engineering.

PROF. DR. LUIZ CARLOS GOMES DE FREITAS

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Head of the Postgraduate Program in Electrical Engineering

Portaria de Pessoal UFU Nº 3675, de 30 de Junho de 2023

PROF. DR. SÉRGIO FERREIRA DE PAULA SILVA

Diretor da Faculdade de Engenharia Elétrica

Director of the Faculty of Electrical Engineering

Portaria de Pessoal UFU Nº 1225, de 31 de Março de 2021



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Carlos Gomes de Freitas, Coordenador(a)**, em 02/02/2024, às 13:44, 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 **5153700** e o código CRC **0D58733D**.