



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA



FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

COURSE OUTLINE

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

1. OBJETIVOS / STUDY GOALS

O estudo da Energia Eólica em Engenharia Elétrica visa atingir diversos objetivos, aproveitando os princípios da geração de energia a partir do vento. Alguns dos objetivos incluem: compreensão dos princípios da energia eólica, projeto e análise de sistemas de geração eólica, otimização de turbinas eólicas, integração na rede elétrica, análise de viabilidade econômica, estudo do impacto ambiental, desenvolvimento de tecnologias avançadas, operação e manutenção de parques eólicos, considerações de planejamento e zoneamento, aspectos legais e regulatórios. Estudar Energia Eólica em Engenharia Elétrica prepara os profissionais para contribuir efetivamente no setor de energia renovável, desempenhando papéis importantes desde o projeto e implementação até a operação e manutenção de sistemas de geração eólica.

The study of Wind Energy in Electrical Engineering aims to achieve various objectives, harnessing the principles of energy generation from the wind. Some of the objectives include: understanding the principles of wind energy, designing and analyzing wind generation systems, optimizing wind turbines, integration into the electrical grid, economic feasibility analysis, environmental impact assessment, development of advanced technologies, operation and maintenance of wind farms, planning and zoning considerations, legal and regulatory aspects. Studying Wind Energy in Electrical Engineering prepares professionals to effectively contribute to the renewable energy sector, playing crucial roles from project design and implementation to the operation and maintenance of wind generation systems.

2. EMENTA / COURSE CONTENTS

Introdução. Características do Vento. Medições do Vento. Potência, Energia e Torque da Turbina Eólica. Turbina Eólica na Rede Elétrica. Geradores Elétricos Assíncronos. Cargas Assíncronas. Economia de Sistemas Eólicos. Usinas de Energia Eólica.

Introduction. Wind Characteristics. Wind Measurements. Wind Turbine Power, Energy, and Torque. Wind Turbine on the Electrical Network. Asynchronous Electrical Generators. Asynchronous Loads. Economics of Wind Systems. Wind Power Plants.

3. PROGRAMA / PROGRAM

1. Introdução.

- 1.1. Usos Históricos do Vento.
- 1.2. História da Geração Elétrica a Partir do Vento.
- 1.3. Pesquisa de Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal.
- 1.4. Turbinas Eólicas Darrieus.
- 1.5. Turbinas Eólicas Inovadoras.
- 1.6. Parques Eólicos no Brasil.

2. Características do Vento.

- 2.1. Meteorologia do Vento.
- 2.2. Distribuição Mundial do Vento.

- 2.3. Distribuição da Velocidade do Vento no Brasil.
- 2.4. Estabilidade Atmosférica.
- 2.5. Variação da Velocidade do Vento com a Altura.
- 2.6. Estatísticas de Velocidade do Vento.
- 2.7. Estatísticas de *Weibull*.
- 2.8. Determinação dos Parâmetros de *Weibull*.
- 2.9. Distribuições de *Rayleigh* e Normal.
- 2.10. Distribuição de Ventos Extremos.

3. Medições do Vento.

- 3.1. Características Eólicas.
- 3.2. Indicadores Biológicos.
- 3.3. Anemômetros Rotacionais.
- 3.4. Outros Anemômetros.
- 3.5. Direção do Vento.
- 3.6. Medições do Vento com Balões.

4. Potência, Energia e Torque da Turbina Eólica.

- 4.1. Saída de Potência de uma Turbina Ideal.
- 4.2. Aerodinâmica.
- 4.3. Saída de Potência em Turbinas na Prática.
- 4.4. Eficiências de Transmissão e Gerador.
- 4.5. Produção de Energia e Fator de Capacidade.
- 4.6. Torque e Velocidades Constantes.
- 4.7. Oscilações do Trem de Acionamento.
- 4.8. Inicialização de uma Turbina *Darrieus*.
- 4.9. Potência do Eixo da Turbina e Torque em Velocidades Variáveis.

5. Turbina Eólica na Rede Elétrica.

- 5.1. Métodos de Geração de Energia Síncrona.
- 5.2. Circuitos CA.
- 5.3. O Gerador Síncrono.
- 5.4. Cálculos em Por Unidade.
- 5.5. A Máquina de Indução.
- 5.6. Partida do Motor.
- 5.7. Crédito de Capacidade.
- 5.8. Características da Rede Elétrica

6. Geradores Elétricos Assíncronos.

- 6.1. Sistemas Assíncronos.
- 6.2. Gerador CC em Derivação com Carga de Bateria.
- 6.3. Geradores de Ímã Permanente.
- 6.4. Geradores CA.
- 6.5. Auto excitação do Gerador de Indução.
- 6.6. Operação Monofásica do Gerador de Indução.
- 6.7. Gerador Modulado em Campo.
- 6.8. Gerador Roesel.

7. Cargas Assíncronas.

- 7.1. Bombas de Água de Pistão.
- 7.2. Bombas Centrífugas.
- 7.3. Aquecedores de Água com Pás.
- 7.4. Baterias.

7.5. Economia de Hidrogênio.

7.6. Células de Eletrólise.

8. Economia de Sistemas Eólicos.

8.1. Custos de Capital.

8.2. Conceitos Econômicos.

8.3. Requisitos de Receita.

8.4. Valor da Eletricidade Gerada pelo Vento.

8.5. Custos Ocultos em Nações Industrializadas.

8.6. Fatores Econômicos em Países em Desenvolvimento.

9. Usinas de Energia Eólica.

9.1. Posicionamento das Turbinas.

9.2. Preparação do Local.

9.3. Rede Elétrica.

9.4. Seleção de Tamanhos, Equipamento de Baixa Tensão.

9.5. Seleção de Tamanhos, Equipamento de Tensão de Distribuição.

9.6. Queda de Tensão.

9.7. Perdas.

9.8. Relés de Proteção.

9.9. Custos de Parques Eólicos.

1. Introduction.

1.1. Historical Uses of Wind.

1.2. History of Wind Electric Generation.

1.3. Horizontal Axis Wind Turbine Research.

1.4. Darrieus Wind Turbines.

1.5. Innovative Wind Turbines.

1.6. Wind Farms in Brazil.

2. Wind Characteristics

2.1. Meteorology.

2.2. World Distribution of Wind.

2.3. Wind Speed Distribution in Brazil.

2.4. Atmospheric Stability.

2.5. Wind Speed Variation with Height.

2.6. Wind Speed Statistics.

2.7. Weibull Statistics.

2.8. Determining the Weibull Parameters.

2.9. Rayleigh and Normal Distributions.

2.10. Distribution of Extreme Winds.

3. Wind Measurements.

3.1. Eolian Features.

3.2. Biological Indicators.

3.3 Rotational Anemometers.

3.4. Other Types of Anemometers.

3.5. Wind Direction.

3.6. Wind Measurements with Balloons.

4. Wind Turbine Power, Energy, and Torque.

4.1. Power Output from an Ideal Turbine.

4.2. Aerodynamics.

- 4.3. Power Output from Practical Turbines.
- 4.4. Transmission and Generator Efficiencies.
- 4.5. Energy Production and Capacity Factor.
- 4.6. Torque and Constant Speeds.
- 4.7. Drive Train Oscillations.
- 4.8. Starting a Darrieus Turbine.
- 4.9. Turbine Shaft Power and Torque at Variable Speeds.

5. Wind Turbine on the Electrical Network.

- 5.1. Methods of Generating Synchronous Power.
- 5.2. AC Circuits.
- 5.3. The Synchronous Generator.
- 5.4. Per Unit Calculations.
- 5.5. The Induction Machine.
- 5.6. Motor Starting.
- 5.7. Capacity Credit.
- 5.8. Features of the Electrical Network.

6. Asynchronous Electrical Generators.

- 6.1. Asynchronous Systems.
- 6.2. DC Shunt Generator with Battery Load.
- 6.3. Permanent Magnet Generators.
- 6.4. AC Generators.
- 6.5. Self-Excitation of the Induction Generator.
- 6.6. Single-Phase Operation of the Induction Generator.
- 6.7. Field Modulated Generator.
- 6.8. Roesel Generator.

7. Asynchronous Loads.

- 7.1. Piston Water Pumps.
- 7.2. Centrifugal Pumps.
- 7.3. Paddle Wheel Water Heaters.
- 7.4. Batteries.
- 7.5. Hydrogen Economy.
- 7.6. Electrolysis Cells.

8. Economics of Wind Systems.

- 8.1. Capital Costs.
- 8.2. Economic Concepts.
- 8.3. Revenue Requirements.
- 8.4. Value of Wind-Generated Electricity.
- 8.5. Hidden Costs in Industrialized Nations.
- 8.6. Economic Factors in Developing Countries.

9. Wind Power Plants.

- 9.1. Turbine Placement.
- 9.2. Site Preparation.
- 9.3. Electrical Network.
- 9.4. Selecting Sizes and Low Voltage Equipment.
- 9.5. Selection of Sizes and Distribution Voltage Equipment.
- 9.6. Voltage Drop.
- 9.7. Losses.
- 9.8. Protective Relays.

9.9. Wind Farm Costs.

4. BIBLIOGRAFIA BÁSICA / TEXT BOOK

- FRERIS, L. L. **Wind Energy Conversion Systems**. 1ª Edição [S.l.]: Prentice Hall, 1990. 512 p. ISBN 978-0139605277.
- BRAZ, C. A.; RODRIGUES, R. L.; SIQUEIRA, H. V. **Geração de energia elétrica por meio de fontes de energia renováveis: uma revisão sistemática**. Revista Gestão Industrial, v. 13, n. 1 - p. 228-242, jan. - mar. 2017. ISSN 1808-0448.
- JOHNSON, G. L. **Wind Energy Systems**. Edição Eletrônica. Manhattan, KS: [s.n.], 2006. 449 f.

- FRERIS, L. L. **Wind Energy Conversion Systems**. 1ª Edição [S.l.]: Prentice Hall, 1990. 512 p. ISBN 978-0139605277.
- BRAZ, C. A.; RODRIGUES, R. L.; SIQUEIRA, H. V. **Geração de energia elétrica por meio de fontes de energia renováveis: uma revisão sistemática**. Revista Gestão Industrial, v. 13, n. 1 - p. 228-242, jan. - mar. 2017. ISSN 1808-0448.
- JOHNSON, G. L. **Wind Energy Systems**. Edição Eletrônica. Manhattan, KS: [s.n.], 2006. 449 f.

5. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR / ADDITIONAL READING

- MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind Energy Explained: Theory, Design and Application**. 2ª Edição [S.l.]: Wiley, 2010. 704 p. ISBN 978-0470015001.
- ABAD, G. *et al.* **Doubly Fed Induction Machine: Modeling and Control for Wind Energy Generation Applications**. 1ª Edição [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2011. 640 p. ISBN 978-0470768655.
- SPERA, D. A. (ed.). **Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering**. 1ª Edição [S.l.]: Amer - Society of Mechanical, 1994. 638 p. ISBN 978-0791812051.
- HEIER, S. **Grid Integration of Wind Energy: Onshore and Offshore Conversion Systems**. 3ª Edição [S.l.]: Wiley, 2014. 503 p. ISBN 978-1119962946.
- SORENSEN, J. D.; SORENSEN, J. N (ed.). **Wind Energy Systems: Optimising Design and Construction for Safe and Reliable Operation**. 1ª Edição [S.l.]: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- TODESCHINI, G. **Wind Energy Conversion Systems as Active Filters: Steady-State and Transient Analysis**. 1ª Edição [S.l.]: VDM Verlag Dr. Müller, 2010. 400 p.
- BLAABJERG, F. Wind Energy Systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 105, n. 11 - p. 2116-2131, nov. 2017.
- DO AMARANTE, Odilon A. Camargo *et al.* **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. 1ª Edição. Brasília - DF: [s.n.], 2001. 45 p.
- GAMBIER, A. **Control of Large Wind Energy Systems: Theory and Methods for the User**. 1ª Edição [S.l.]: Springer, 2022. 282 p. DOI: 10.1007/978-3-030-84895-8.
- ELTAMALY, A. M.; ABDELAZIZ, A. Y.; ABO-KHALIL, A. G. **Control and Operation of Grid-Connected Wind Energy Systems**. 1ª Edição [S.l.]: Springer, 2021. 531 p. (Green Energy and Technology Series). ISBN 978-3030643355.

- MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind Energy Explained: Theory, Design and Application**. 2ª Edição [S.l.]: Wiley, 2010. 704 p. ISBN 978-0470015001.
- ABAD, G. *et al.* **Doubly Fed Induction Machine: Modeling and Control for Wind Energy Generation Applications**. 1ª Edição [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2011. 640 p. ISBN 978-0470768655.
- SPERA, D. A. (ed.). **Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering**. 1ª Edição [S.l.]: Amer - Society of Mechanical, 1994. 638 p. ISBN 978-0791812051.
- HEIER, S. **Grid Integration of Wind Energy: Onshore and Offshore Conversion Systems**. 3ª Edição [S.l.]: Wiley, 2014. 503 p. ISBN 978-1119962946.
- SORENSEN, J. D.; SORENSEN, J. N (ed.). **Wind Energy Systems: Optimising Design and Construction for Safe and Reliable Operation**. 1ª Edição [S.l.]: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- TODESCHINI, G. **Wind Energy Conversion Systems as Active Filters: Steady-State and Transient Analysis**. 1ª Edição [S.l.]: VDM Verlag Dr. Müller, 2010. 400 p.
- BLAABJERG, F. Wind Energy Systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 105, n. 11 - p. 2116-2131, nov. 2017.
- DO AMARANTE, Odilon A. Camargo *et al.* **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. 1ª Edição. Brasília - DF: [s.n.], 2001. 45 p.
- GAMBIER, A. **Control of Large Wind Energy Systems: Theory and Methods for the User**. 1ª Edição [S.l.]: Springer, 2022. 282 p. DOI: 10.1007/978-3-030-84895-8.
- ELTAMALY, A. M.; ABDELAZIZ, A. Y.; ABO-KHALIL, A. G. **Control and Operation of Grid-Connected Wind Energy Systems**. 1ª Edição [S.l.]: Springer, 2021. 531 p. (Green Energy and Technology Series). ISBN 978-3030643355.

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 13:38, 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, informando o código verificador **5153525** e o código CRC **E71A490C**.