

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
METEOROLOGIA**

Coordenador Acadêmico

Éder Paulo Vendrasco

Membros do Conselho de Curso

Ronald Buss de Souza, vice-Coordenador Acadêmico

Natália Rudoff Oliveira

Thiago Souza Biscaro

Luiz Fernando Sapucci

Raimundo Vitor Santos Pereira – Representante Discente

Mayana Vitória Oliveira Sousa – Suplente de Representante Discente

Corpo Docente Permanente

1. Caio Augusto dos Santos Coelho, Ph.D. University of Reading, 2005
2. Carlos Afonso Nobre, Ph.D., Massachussets Institute Of Technology, 1983
3. Chou Sin Chan, Ph.D., University of Reading, 1994
4. Dirceu Luis Herdies, Doutor, USP, 2002
5. Éder Paulo Vendrasco, Doutor, INPE, 2015
6. Gilberto Fernando Fisch, Doutor, INPE, 1995
7. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti, Ph.D., University of Reading, 1991
8. José Antônio Marengo Orsini, Ph.D., University of Wisconsin, 1991
9. Luciano Ponzi Pezzi, Ph.D., University of Southampton, 2003
10. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves, Ph.D., University of Arizona, 2005
11. Luiz Fernando Sapucci, Doutor, UNESP, 2005
12. Manoel Alonso Gan, Doutor, INPE, 1992
13. Marcelo Enrique Seluchi, Doutor, Universidad de Buenos Aires, 1993
14. Natalia Rudorff Oliveira, Doutora, INPE, 2013
15. Paulo Yoshio Kubota, Doutor, INPE, 2012
16. Paulo Nobre, Ph.D., University of Maryland, 1993
17. Ronald Buss de Souza, Ph.D., University of Southampton, 2000
18. Saulo Ribeiro de Freitas, Doutor, USP, 1999
19. Silvio Nilo Figueroa Rivero, Doutor, INPE, 1997
20. Simone Marilene Sievert da Costa Coelho, Ph.D., University of Reading, 2006

21. Thiago Souza Biscaro, Brasil, Doutor, INPE, 2019

Corpo Docente Colaborador

22. Enver Manuel Amador Ramirez Gutierrez, Doutor, INPE, 2011

23. José Paulo Bonatti, Doutor, INPE, 1988

24. Karla Maria Longo de Freitas, Doutora, USP, 1999

25. Nelson Jesus Ferreira, Ph.D., University of Wisconsin, 1987

26. Renato Galante Negri, Doutor, INPE, 2012

Pesquisadores Eméritos:

27. Carlos Afonso Nobre, Ph.D., Massachusetts Institute Of Technology, 1983

28. Juan Carlos Ceballos, Doutor, USP, 1986

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
METEOROLOGIA**

**PROGRAMAÇÃO 2023 DAS DISCIPLINAS
PARA O MESTRADO E DOUTORADO**

1º Período Letivo

OBRIGATÓRIAS

MET-222-3	Termodinâmica da Atmosfera e Física de Nuvens	Dr. Thiago Souza Biscaro Dr. Silvio Nilo Figueroa
MET-235-3	Radiação Atmosférica	Dra. Simone M. Sievert da Costa Dr. Renato Galante Negri
MET-225-3	Meteorologia Dinâmica I	Dr. Éder Paulo Vendrasco

ELETIVAS

MET-551-3	Meteorologia Tropical	Dr. José Antonio Marengo Orsini
MET-560-3	Métodos Matemáticos em Meteorologia	Dr. Luiz Fernando Sapucci
MET-577-3	Oceanos e Criosfera no Sistema Terrestre	Dr. Ronald Buss, de Souza

2º Período Letivo

OBRIGATÓRIAS

MET-341-3	Meteorologia Dinâmica II	Dr. Silvio Nilo Figueroa e Dr. Enver Ramirez Gutierrez
MET-347-3	Meteorologia Sinótica	Dr. Marcelo Enrique Seluchi
MET-573-3	Sensoriamento Remoto da Atmosfera I	Dra. Natália de Moraes Rudorff Dr. Renato Galante Negri
MET-579-4	Métodos Numéricos Aplicados à Modelagem Atmosférica e Oceânica	Dr. Paulo Yoshio Kubota

ELETIVAS

MET-336-3	Oceanografia Física	Dr. Luciano Ponzi Pezzi
MET-419-3	Interações Biosfera-Atmosfera	Dr. Éder Paulo Vendrasco

MET-567-3	Modelagem Acoplada Oceano-Atmosfera	Dr. Paulo Nobre
MET-554-3	Dinâmica da Mesoescala	Dra. Chou Sin Chan
MET-563-3	Introdução à Assimilação de Dados	Dr. Dirceu Luís Herdies

3º Período Letivo

ELETIVAS

MET-557-3	Climatologia Dinâmica	Dra. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti
MET-348-3	Previsão Numérica de Tempo e Clima	Dr. Paulo Yoshio Kubota
MET-580-3	Métodos Avançados em Assimilação de Dados com Aplicações em IA	Dr. Luís Gustavo G. Gonçalves
MET-565-3	Micrometeorologia e CLP	Dr. Gilberto Fisch
MET-570-3	Sinótica Avançada	Dr. Manoel Alonso Gan
MET-572-3	Modelagem e Previsão Climática	Dr. Caio A. dos Santos Coelho
MET-574-3	Sensoriamento Remoto da Atmosfera II	Dr. Nelson Jesus Ferreira
MET-429-3	Tópicos Especiais em Modelagem Ambiental	Dr. Saulo Ribeiro de Freitas Dra. Karla M. Longo de Freitas
MET-561-3	Meteorologia por Radar	Dr. Thiago Souza Biscaro
MET-578-4	Mudanças climáticas e desastres naturais	Dr. Carlos Afonso Nobre

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

EMENTAS DAS DISCIPLINAS OBRIGATÓRIAS

MET-222-3	Termodinâmica da Atmosfera e Física de Nuvens
------------------	--

Docente Responsável: Thiago Souza Biscaro e Silvio Nilo Figueroa

Parte 1 - Termodinâmica da atmosfera: 1.1. Revisão de conceitos básicos: composição e estrutura da atmosfera, sistemas termodinâmicos, equação dos gases ideais, equação hidrostática e suas aplicações, leis da termodinâmica, calores específicos, entalpia, trabalho, entropia, equação de Poisson, processos adiabáticos e temperatura potencial. 1.2. Termodinâmica do ar úmido: umidade específica, razão de mistura, temperatura virtual, temperatura potencial equivalente e de água líquida, temperaturas de orvalho e de bulbo úmido, pressão de saturação do vapor, calor latente de condensação/vaporização e a equação de Clausius-Clapeyron. 1.3. Estabilidade atmosférica: estabilidade estática seca e saturada, instabilidade condicional, latente e potencial, interpretação de perfis atmosféricos em diagramas Skew-T Log-P, conceitos de TKE, CAPE, CIN, energia estática seca e úmida e suas aplicações.

Parte 2 - Física de nuvens: 2.1 nuvens e suas interações: tipos de nuvens, formação das nuvens, interações nuvens-PBL (Camada Limite Planetária), nuvens-radiação e nuvens-aerossóis. 2.2. Introdução à dinâmica das nuvens convectivas: formação, crescimento e dissipação das nuvens, e suas interações com os processos de superfície-PBL, mesoscala e grande escala. 2.3 Introdução à Microfísica: energia livre de Gibbs, supersaturação, nuvens quentes e frias, formação de gotículas de água, núcleos de condensação de nuvens (CCN), equações de Kelvin e Köhler, processos de nucleação, crescimento de gotas e cristais de gelo. Processo de Bergeron, distribuição exponencial e Gamma de gotas de chuva e sua aplicação na parametrização da microfísica de nuvens.

Bibliografia

- Petty, G.W., 2008: A First Course in Atmospheric Thermodynamics, Sundog Publishing.
- Tsonis, A.A., 2002: An Introduction to Atmospheric Thermodynamics, Cambridge.
- Bohren, C.F. and B.A. Albrecht, 1998: Atmospheric Thermodynamics, Oxford.
- Curry, J.A. and P.J. Webster, 1999: Thermodynamics of Atmospheres & Oceans, Academic Press.
- Miller, S., 2015. Applied Thermodynamics for Meteorologists. Cambridge University Press, 385 pp.
- Wallace, J. M.; Hobbs, P. V. Atmospheric Science: An Introductory Survey. Academic Press, 2a ed., 2006, 504p.
- Rogers, R. R.; Yau, M. K. A Short Course in Cloud Physics. Butterworth-Heinemann, 3 a ed., 1989, 308p.
- Emanuel, K. A. (1994). Atmospheric convection. Oxford University Press, USA.
- Lohmann, U., Lüönd, F., & Mahrt, F. (2016). An introduction to clouds: From the microscale to climate. Cambridge University Press.
- Houze, R. A. Cloud Dynamics. Academic Press, 1993, 573p.
- Pruppacher, H. R., Klett, J. D., & Wang, P. K. (1998). Microphysics of clouds and precipitation.

MET-235-3	Radiação Atmosférica
------------------	-----------------------------

Docente Responsável: Simone Marilene Sievert da Costa Coelho e Renato Galante Negri

Parâmetros astronômicos e terrestres. Grandezas radiométricas; espectro solar e de corpo negro; instrumentos de medição de radiação.

Conceitos termodinâmicos da radiação: Emissão de corpos ideais e reais: corpo negro, leis de emissão, espectros de emissão/absorção. espectro solar e de corpo negro; propriedades radiativas de superfícies naturais: reflexão, refração, transmissão, absorção/emissão. Composição da atmosfera.

Propagação de radiação solar na atmosfera: lei de Beer, espalhamento e absorção de radiação por gases e partículas: dispersão Rayleigh, Mie e óptica geométrica. Visibilidade atmosférica.

Radiação térmica na atmosfera: bandas de absorção dos principais gases principais no infravermelho próximo e termal; propriedades e parametrização de emissão e transmissão.

As equações de Maxwell e a Equação geral de Transferência Radiativa (ETR);

Estimativa e observações do balanço de radiação na atmosfera. Propriedades radiativas de nuvens e aerossóis. Laboratório de radiação: uso de dados dos diferentes instrumentos de radiação.

Bibliografia

Johnson, J. C. **Physical Meteorology**. New York, Massachusetts Institute of Technology, 1954.

Liou, K. N. **An Introduction to Atmospheric Radiation**. Academic Press, 2ª ed, 2002.

Petty, G. W. **A first course in atmospheric radiation**. Sundog Pub, 2006.

Wallace , J. M.; Hobbs, P. V. **Atmospheric Science: An introductory Survey**. Academic Press, 2ª ed, 2006.

MET-225-3	Meteorologia Dinâmica I
------------------	--------------------------------

Docente Responsável: Éder Paulo Vendrasco

Equações básicas: Equação do movimento em um sistema de coordenadas esféricas girantes, Equação da continuidade e Equação da termodinâmica. Análise de escala na equação horizontal do movimento: aproximação consistente (com respeito à conservação de momentum angular) da água rasa, aproximações do plano beta para latitudes médias e equatoriais, aproximação do plano f. Análise de escala da componente vertical da equação do movimento: aproximação hidrostática. Equação hipsométrica e casos especiais de atmosferas. Coordenadas naturais: escoamentos especiais em coordenadas naturais. Vento geostrófico e vento gradiente. Número de Rossby. Vento térmico e advecção de temperatura. Coordenadas verticais e transformação de coordenadas.

Circulação, vorticidades relativa e absoluta. Camada de Ekman: Teoria do comprimento de mistura, camada limite superficial, perfil logarítmico do vento, camada de Ekman e “spin-down”. Equação da Divergência e Equação do Balanço. Equação da Vorticidade e sua análise de escala para movimentos de escala sinótica. Análise de escala quase-geostrófica: Equação da Tendência do Geopotencial e a Equação Omega. Vetor Q de Hoskins.

Bibliografia

Holton, J. R. **An introduction to Dynamic Meteorology**. New York, Academic Press, Inc., 4^a ed., 2004, 511 p.

Lemes, M. A. M.; Moura, A. D. **Fundamentos de Dinâmica Aplicados à Meteorologia e Oceanografia**.

Ribeirão Preto, SP, 2a ed., Holos Editora Ltda- ME, 2002.

Veiga, J. A. P. (org.). **Princípios Básicos de Meteorologia Dinâmica**. Manaus: Editora UEA, 2021.

MET-341-3	Meteorologia Dinâmica II
------------------	---------------------------------

Docente Responsável: Silvio Nilo Figueroa e Enver Ramirez Gutierrez

Pré-requisito: Meteorologia Dinâmica I (MET-225-3)

Movimentos Ondulatórios na Atmosfera Terrestre: Força, Quantidade de Movimento, Impulso, Trabalho e Energia; Movimento Harmônico Simples, Composto, Forçado, Amortecido e Ressonância; Análise de Fourier do Movimento Periódico e Efeito Gibbs; Oscilador Acoplado e Batimentos; Oscilações Harmônicas; Ondas no Tempo e no Espaço e Propriedades das Ondas Planas, Velocidade de Fase e de Grupo, Dispersão; Classificação das Ondas em Fluidos Geofísicos.

Oscilações Atmosféricas Lineares: Método da Perturbação e Linearização das Equações Básicas em Coordenadas Verticais z; Solução Geral das Equações Linearizadas com uso de Parâmetros Traçadores para Filtragem de Ondas; Análise da Relação de Dispersão para o Caso Sem Variação em y: Ondas Acústicas e de Gravidade Inercial, suas Propriedades, Casos Assintóticos, Freqüência de Brunt Väisälä e Diagrama de Dispersão; Filtragem da Solução Geral através do Uso Consiste dos Parâmetros Traçadores; Aproximação Anelástica: Eliminação de Ondas Acústicas; Aproximação Hidrostática, seu Efeito na Solução e seu Domínio de Validade; Onda de Lamb; Filtragem de Ondas de Gravidade; Ondas de Rossby (Ondas Planetárias) e suas Propriedades com a Introdução da Variação com y; Ondas de Gravidade de Superfície, suas Propriedades, Casos Assintóticos e Ondas de Água Rasa; Ondas Equatoriais como Solução das Equações da Água Rasa Linearizadas no Plano- β Equatorial: Ondas de Rossby, Ondas de

Gravidade Inercial para Leste e para Oeste, Onda Mista Rossby-Gravidade e Onda de Kelvin; Diagrama de Dispersão Incluindo Todas as Ondas Estudadas e Região de Validade da Aproximação Hidrostática; Ajustamento Geostrófico de Rossby e sua Energética; Ondas de Rossby Topográficas.

Instabilidade Baroclínica: Introdução à Instabilidade Hidrodinâmica; Equações do Sistema Quase-geostrófico Diabático: Vorticidade, Termodinâmica, Omega e Vorticidade Potencial, suas Propriedades e Linearização; Onda de Rossby Neutra Tri-dimensional e Estacionária; Instabilidade Baroclínica no Sistema Quase-geostrófico, seguindo Procedimentos de Charney e Stern; Teorema de Rayleigh: Condição Necessária para Instabilidade Baroclínica e/ou Barotrópica; Instabilidade Baroclínica em uma Atmosfera Continuamente Estratificada; Sistema de Coordenadas Logaritmo da Pressão e sua aplicação nas Equações da Termodinâmica e Vorticidade Potencial Quase-geostróficas; Problema de Estabilidade de Eady; Instabilidade Baroclínica em um Modelo Quase-geostrófico Multi-nível e Parametrização de Mak para Liberação de Calor Latente; Instabilidade Baroclínica no Modelo Quase-geostrófico de Duas Camadas incluindo o Efeito da Liberação de Calor Latente; Taxa de Crescimento e Velocidade de Fase: Casos Sem Cisalhamento e Sem Variação da Rotação Planetária e Caso Geral; Efeito da Liberação de Calor Latente em Perturbações Baroclinicamente Instáveis e Estudo de Caso para Vírgulas Invertidas no Sul do Brasil e Anéis Oceânicos; Energia Potencial Total e Energia Interna Total em uma Atmosfera Hidrostática; Equações de Energia para o Modelo Quase-geostrófico; Ciclo de Energia das Ondas Baroclinicamente Instáveis e Processos Físicos Associados às Conversões de Energia.

Modos Normais na Atmosfera: Modos Normais de Modelo Global em Coordenadas Sigma e Geometria Esférica: Equações Primitivas (Movimento, Termodinâmica, Continuidade, Hidrostática); Equações Linearizadas da Vorticidade, da Divergência, da Termodinâmica e da Continuidade e Equação para a Altura Geopotencial Generalizada; Solução das Equações Linearizadas pelo Método Espectral (Harmônicos Esféricos): Uso de Transformadas de Fourier e de Legendre; O Problema da Separação das Estruturas Horizontais e Verticais: Solução da Estrutura Vertical e Obtenção Analítica dos Modos Verticais Externo e Internos; Solução da Estrutura Horizontal em Coordenadas Esféricas: Obtenção das Funções Vetoriais de Hough (Modos Geostróficos, Modos de Rossby, Modo Misto Rossby-Gravidade, Modo de Kelvin, Modos de Gravidade Inerciais); Solução da Estrutura Horizontal: o Problema do Reforço entre Modos Horizontais na Propagação de Energia; Inicialização em Modelo Globais.

Bibliografia

Gill, A.E. **Atmosphere-Ocean Dynamics**. New York: Academic Press, 1982.

Holton, J.R. **An Introduction to Dynamic Meteorology**. 3. Ed. New York: Academic Press, 1992.

Holton, J.R. **The Dynamic Meteorology of the Stratosphere and Mesosphere**. Boston, MA: American Meteorological Society, 1975.

Lemes, M.A.M. Moura, A.D. **Fundamentos de Dinâmica Aplicados à Meteorologia e Oceanografia**. Ribeirão Preto, SP: Holos, Editora Ltda-ME, 2002, 2ª edição.

Morel, P. **Dynamic Meteorology**. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publications Company, 1973.

Pedlosky, J. **Geophysical Fluid Dynamics**. 2. Ed. New York: Springer, 1986.

Artigos

Bonatti, J.P.; Rao, V.B. Moist Baroclinic Instability in the Development of North Pacific and South American Intermediate-Scale Disturbances. **Journal of the Atmospheric Sciences**, **44**(18): 2657-2667, 1987.

Kashara, A.; Puri, K. Spectral Representation of Three-Dimensional Global Data by Expansion in Normal Modes Functions. **Monthly Weather Review**, **109**: 37- 51, 1981.

Teses / Dissertações do INPE

Andrade, C.R. **Análise das Trocas de Energia entre Modos Verticais e Horizontais, em Resposta à Fontes Tropicais de Calor de Grande Escala**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia (13/10/1994). São José dos Campos, SP, INPE, 1994. (INPE-5681-TDI/567)

Bonatti, J.P. **Evolução Para Amplitude Finita das Ondas Baroclínicas na Atmosfera e no Oceano**. Tese de Doutorado em Meteorologia (19/08/1998). São José dos Campos, SP, INPE, 1988. (INPE-4752-TDL/346)

Notas de Aula: Preparadas pelo Professor do Curso.

MET-347-4	Meteorologia Sinótica
------------------	------------------------------

Docente Responsável: Marcelo Enrique Seluchi

Breve história da Meteorologia Sinótica. Definição e características da Escala Sinótica. Classificação de sistemas e fenômenos meteorológicos nas diferentes escalas. Representação do tempo em mapas meteorológicos: análise de campos escalares e vetoriais; Definição, características, identificação e análise de massas de ar e suas transformações; Índices de instabilidade e sua utilização na previsão de tempo, Interpretação de sondagens atmosféricas; Noções básicas sobre nuvens e fotointerpretação de imagens de satélite; Definição, teoria e modelos conceituais de frentes. Ciclones/Anticiclones e ciclogênese/Anticiclogênese, Interpretação da Equação das Tendências de Geopotencial e da Teoria de Desenvolvimento de Sutcliffe, Dinâmica das correntes de jato em altos níveis; Escoamento e ondas de ar superior; Interpretação e utilização da Equação Ômega Quasegeostrófica e do Vetor Q para previsão de tempo. Sistemas

de tempo atuantes na América do Sul; Monções da América do Sul, Bloqueios; Padrões atmosféricos associados a tempo e clima na América do Sul; Noções básicas sobre os modelos de Previsão Numérica de Tempo (PNT) e seus produtos; Modelos operacionais do CPTEC/INPE; Observação do tempo, Discussão e elaboração da previsão de tempo.

Bibliografia

- Ahrens, C.D. **Essentials of Meteorology** – An invitation to the Atmosphere. 3a. ed, 2007, 443 p.
- Bader, M.J. et al. **Images in Weather forecasting – A practical guide for interpreting satellite and radar imagery**. New York, Cambridge University Press, 1995, 499 p.
- Bluestein, H.B. **Synoptic-dynamic meteorology in Mid-latitudes. Vol I: Principles of kinematics and dynamics**. New York, Oxford University Press, 1992, 431 p.
- Bluestein, H.B. **Synoptic-dynamic meteorology in Mid-latitudes. Vol II: Observations and theory of weather systems**. New York, Oxford University Press, 1992, 594 p.
- Carlson, T.N. **Mid-latitude weather systems**. London, Harper Collins Academic, 1991, 507 p.
- Conway, E.D.; The Maryland Space Grant Consortium. **An Introduction to Satellite Image Interpretation**. Baltimore, The Johns Hopkins University press, 1997, 242 p.
- Djuric, D. **Weather analysis**. New Jersey, Prentice Hall, Inc., 1994, 303 p.
- Gan M.A., 1992: **Ciclogênese e ciclones sobre a América do Sul**. Tese de Doutorado em Meteorologia, INPE (INPE/5400-TDI/479).
- Holton, J.R. **An introduction to dynamic meteorology**. New York, Academic Press, Inc., 4^a ed., 2004, 511 p.
- Satyamurti, P.; Nobre, C. A.; Silva Dias, P.L. South America. In: Karoly, D.J.; Vincent, D.G. Meteorology of the Southern Hemisphere. **Meteorological Monographs**, 27(49), Cap. 3C, Dec. 1998.
- Stull, R. B. **Meteorology for Scientists and Engineers**. Austrália, Brooks/Cole Ed., 2a. ed., 2000, 502 p.
- Vasquez, T. **Weather Forecasting Handbook**. Weather Graphics Technologies. 5a ed., 2002, 198 p.
- Vasquez, T. **Weather Map Handbook – A guide to the internet, modern forecasting, and weather technology**. Austin, Weather Graphics Technologies. 2a. ed., 2003, 167 p.

Material disponibilizado nas *websites*:

CPTEC/INPE: www.cptec.inpe.br

Program COMET:

<http://www.meted.ucar.edu/nwp/pcu1/ensemble/print.htm>

ECMWF: www.ecmwf.int

MetOffice: <http://www.metoffice.gov.uk/research/nwp/ensemble/concept.html>

MET-573-3	Sensoriamento Remoto da Atmosfera I
------------------	--

Docente Responsável: Natalia Rudorff Oliveira e Renato Galante Negri

Satélites órbitas e sensores (do ultravioleta ao micro-ondas), princípios e visão de aplicações. Visão geral sobre os satélites em órbitas e previstos. Tipos de varredura (cross tracking, cônica, Lidar, SAR e fase array-ativa). Os satélites Geoestacionários (Series GOES, MSG, MTG e recentes). Os satélites em órbita polar (METOP e JPSS) e os satélites em órbita de baixa inclinação (GPM e MegaTropique). Satélites de pesquisa (as diferentes constelações). Composição de imagem. Geração de uma imagem RGB. O que é uma imagem, resolução espacial, temporal, radiométrica e espectral. Princípios de navegação, calibração (visível, infravermelho e micro-ondas) e problemas em imagens (correções radiométricas e geométricas), correção atmosférica para recuperação de informações da superfície. Modelos radiométricos forward de reprodução de imagens. Laboratório de satélite: reprodução de imagem visível, infravermelho e micro-ondas usando códigos de transferência radiativa.

Bibliografia

- Carleton, A. M. **Satellite remote sensing in climatology**. Belhaven Press (London) and CRC Press (Boca Raton), 1991.
- Goody, R. M. **Atmospheric Radiation: Theoretical Basis**. Oxford, Clarendon Press, 1964.
- Kidder, S. Q.; Vonder Haar, T. H. **Satellite Meteorology: An Introduction**. San Diego, CA, Academic Press, 1995.
- Liou, K. N. **An Introduction to Atmosphere Radiation**. 2^a ed., Academic Press, 1980.
- Peixoto, J. P.; Oort, A. H. **Physics of climate**. New York, American Institute of Physics, 1992.
- Ulaby, F. T. Microwave Radiometers. In: Vol. I - **Manual of Remote Sensing**. Falls Church, Virginia, American Society of Photogrammetry, Jan. 1975.
- Ulaby, F. T. Active Microwave Determinations of Soil Moisture. In: Vol. II - **Manual of Remote Sensing**. Falls Church, Virginia, American Society of Photogrammetry, Jan. 1975.
- Vaughan, R. A. **Remote Sensing Applications in Meteorology and Climatology**. Edited by. Dordrecht, The Netherlands: D. REIDEL Publishing Company, NATO Advanced Science Institutes Series, 1987.
- Wallace J. M.; Hobbs, P. V. **Atmospheric Science: An Introduction Survey**. Academic Press, 2^a ed., 2006, 504 p.

MET –579-4	Métodos Numéricos Aplicados à Modelagem Atmosférica e Oceânica
-------------------	---

Docente Responsável: Paulo Yoshio Kubota

Pré-requisito: Meteorologia Dinâmica I (MET-225-3) e Termodinâmica da Atmosfera e Física de Nuvens (MET-222-3)

Estudo aprofundado dos métodos numéricos utilizados na solução das equações governantes aplicadas à modelagem atmosférica e oceânica. Análise dos processos de discretização espacial e temporal, avaliação de estabilidade numérica e técnicas avançadas de interpolação. Implementação e análise de malhas computacionais, coordenadas verticais e núcleos dinâmicos. Estudo dos métodos espectrais, semi-Lagrangianos, de volumes finitos e elementos finitos na simulação geofísica. Avaliação de técnicas numéricas aplicadas às parametrizações físicas (superfície, camada limite, convecção, microfísica, radiação, fração de nuvens e arrasto de ondas de gravidade). Introdução aos métodos de acoplamento atmosfera–oceano. O objetivo do curso é apresentar os fundamentos numéricos essenciais para a modelagem atmosférica e oceânica; Discutir e aplicar os principais métodos de discretização espacial e temporal das equações governantes; Analisar estabilidade, coerência física e impacto dos métodos numéricos em modelos atmosféricos e oceanicos; Desenvolver compreensão prática da construção de núcleos dinâmicos atmosféricos; Estudar a estrutura numérica das parametrizações físicas e suas implicações na solução das equações governantes; Compreender as estratégias de acoplamento entre modelos atmosféricos e oceânicos. Tópicos abordados: Visão Geral dos Métodos Numéricos Aplicados à Modelagem Atmosférica e Oceânica; Técnicas de Interpolação e seus Impactos nos Métodos Numéricos; Discretização das Equações Governantes e Análise de Estabilidade; Métodos de Discretização Temporal; Métodos Explícitos e Implícitos em Modelos Atmosféricos; Difusão Numérica e Implementação em Modelos Atmosféricos; Métodos Espectral e Semi-Lagrangiano; Discretização em Coordenadas Verticais; Malhas de Arakawa e Aplicações no Modelo de Águas Rasas; Construção de Núcleo Dinâmico Atmosférico; Método de Volume Finito em Modelos Atmosféricos; Método de Elementos Finitos em Modelos Atmosféricos; Métodos Numéricos e modelagem dos processos físicos aplicados em Parametrizações dos modelos Atmosféricos; Técnicas de Acoplamento Atmosfera–Oceano.

Bibliografia

Stensrud, D. (2007). Parameterization Schemes: Keys to Understanding Numerical Weather Prediction Models. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511812590

Plant, R.S and Yano Jun-Ichi (2016). Parameterization of Atmospheric Convection (in 2 Volumes). Volume 1: Theoretical Background and Formulation. Volume 2. Current Issues and New Theories. ISSN:2045-9726. University of Cambridge, UK.

Straka Jerry M. (2009). Cloud and Precipitation Microphysics: Principles and Parameterizations. Cambridge University Press.

Røed, Lars Petter: Atmospheres and Oceans on Computers, Fundamental Numerical Methods for Geophysical Fluid Dynamics. Springer.

Durrant Dale R. (2010) Numerical Methods for Fluid Dynamics. Second Edition. 2010. Springer.

Lauritzen, P. Lauritzen, P.H., Jablonowski, C., Taylor, M.A., Nair, R.D. (2011). Numerical Techniques for Global Atmospheric Models: Springer.

<https://ocw.mit.edu/courses/earth-atmospheric-and-planetary-sciences/12-950-atmospheric-and-oceanic-modeling-spring-2004/lecture-notes/>

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

EMENTAS DAS DISCIPLINAS ELETIVAS

MET-557-3	Climatologia Dinâmica
------------------	------------------------------

Docente Responsável: Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti

Pré-requisito: Meteorologia Dinâmica I (MET-225-3)

1) Introdução aos aspectos estudados na climatologia dinâmica. 2) Aspectos climatológicos e ciclo sazonal no globo e na América do Sul e mecanismos associados. 3) Manutenção da circulação geral: O papel da circulação média meridional e dos distúrbios transientes. 4) Balanço energético da atmosfera terrestre e transportes meridional e vertical de energia. 5) Características dos distúrbios transientes nos dois hemisférios. Fluxo de Eliassen Palm e Vetor E, ciclo de energia de Lorenz. 6) Ondas estacionárias nos dois hemisférios: aspectos observacionais e teóricos. 7) Teleconexões e variabilidade interanual e intrasazonal na atmosfera. 8) Introdução às mudanças climáticas. 9) Introdução aos modelos numéricos de escala global com ênfase em modelos climáticos.

Bibliografia

James, I. N. **Introduction to Circulating Atmospheres**. Cambridge University Press, 1994.

Karoly, D. J.; Vincent, D. G. **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston, MA, American Meteorological Society, 1999. (Meteorological Monographs).

Hoskins, B.; Pearce, R. (eds.) **Large-scale dynamical processes in the atmosphere**. London: Academic Press, 1983.

Palmen, E.; Newton, L.W. **Atmospheric Circulation Systems**. New York: Academic Press, 1969.

Philander, G. El Nino, La Nina and the Southern Oscillation. Academic Press, 1990.

Trenberth, K. E. **Climate System Modeling**. Cambridge University Press, 1992.

MET-554-3	Dinâmica da Mesoescala
------------------	-------------------------------

Docente Responsável: Chou Sin Chan

Pré-requisito: Meteorologia Dinâmica I (MET-225-3) e Termodinâmica da atmosfera e física de nuvens (MET-222-3)

Definições de mesoescala: geométrica e dinâmica. Análise de escala das equações de conservação para mesoescala. Aproximação de Boussinesq. Ondas de gravidade-inerciais. Conceitos básicos de nuvens. Tipos de tempestades de curta e longa duração. Convecção: teoria da parcela, modelo linear e modelo não-linear da convecção. Energia Potencial disponível para Convecção – CAPE. Critérios de instabilidade convectiva. Sistema de circulação de brisa. Modelos conceituais de jato de baixos níveis. Ondas de montanha: teoria linear e não-linear. Número de Scorer. Número de Froude. Vento tipo Foehn. Modelo Long de onda de montanha não linear. Instabilidade pura de mesoescala: instabilidade simétrica e instabilidade simétrica condicional: teoria da parcela e teoria linear. Energia Potencial para Convecção Inclinada (SCAPE). Frontogenesis, teoria Quasi-Geostrófica de frontogenesis, teoria Semi-Geostrófica de frontogenesis. Equação de Sawyer-Eliassen. Aproximação do momentum geostrófico.

Bibliografia

Cotton, W. R.; Anthes, R. A. **Storm and Cloud Dynamics**. New York: Academic Press, 1989.

Holton, J. R. **An Introduction to Dynamic Meteorology**. 3. ed. New York: Academic Press, 1992.

Lilly, D. K.; Gall-Chen, T. **Mesoscale Meteorology: Theories, Observations and Models**. Dordrecht, NL: Reidel, 1983. (NATO ASI Series C: Mathematical and Physical Sciences, n.114)

Pielke, R. A. **Mesoscale Meteorological Modeling**. New York, Academic Press, 1984.

Hoskins, B. J. The Mathematical Theory of Frontogenesis. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 1982. 14: 131-151.

Hoskins, B. J. 1974. The role of potential vorticity in symmetric stability and instability. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 100: 480-82.

Hoskins, B. J. 1975. The geostrophic momentum approximation and the semi geostrophic equations. *J. Atmos. Sci.* 32: 233-42

MET- 419-3	Interações Biosfera-Atmosfera
-------------------	--------------------------------------

Docente Responsável: Éder Paulo Vendrasco

Introdução: a importância da biosfera para o planeta. Componentes do Sistema Terrestre: atmosfera, oceano, criosfera, biosfera, hidrosfera. Ciclos Biogeoquímicos e Biogeoquímicos: uma perspectiva temporal e espacial. Teoria Dinâmica, Equilíbrios Múltiplos e Transições Abruptas em Sistemas Ecológicos Simples. Ciclo de Carbono. Interação Solo-Vegetação-Atmosfera: observações e modelagem. Interações Bioma-Clima. Interações Aerossóis-Clima. Modelos Interativos (Dinâmicos) da Vegetação. Perturbações do Sistema Terrestre: mudanças climáticas e dos usos da terra. Interações Biosfera-Atmosfera Regionais: estudo de caso para a Amazônia

Bibliografia

Dickinson, R. E. **The Geophysiology of Amazonia. Vegetation and climate interactions.** New York, John Wiley & Sons, 1993.

Field et al. **The Global Carbon Cycle.** Cambridge University Press. 2004.

Gash, Nobre et al. **Amazon Deforestation and Climate.** Wiley.

Kabat et al (Eds.). **Vegetation, Water, Humans, and Climate.** Germany, Springer- Verlag, 2004.

Ludwig, D.; Walker, B.; Holling, C. S. **Sustainability, stability, and resilience.** Conservation Ecology [online]1(1): 7, 1997. Disponível em: <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art7>.

Nobre et al. Amazonian Climate. In: Kabat et al. (Eds.). **Vegetation, water, humans and the climate.** Germany, Springer-Verlag, 2004.

Steffen et al. (Eds). **Challenges of a Changing Earth.**,New York, Springer Verlag, 2002. Cap. 26, p.137-141 (Global Change - The IGBP Series)

Scheffer et al. **Catastrophic shifts in ecosystems,** Nature, 411: 591-596, 2001.

The Millennium Ecosystem Assessment Reports.

Trenberth, K. E. **Climate System Modeling.** Cambridge University Press, 1992.

Literatura do LBA (www.lba.cptec.inpe.br/lba/), incluindo os números especiais publicados no JGR, Theoretical Climatology, Ecological Applications, Remote Sensing of the Environment, Acta Amazônica.

MET-563-3	Introdução à Assimilação de Dados
------------------	--

Docente Responsável: Dirceu Luis Herdies

A base de dados é o sistema de observação utilizado em assimilação de dados. O histórico de AD; Métodos clássicos de análise; Estratégias de Assimilação; Técnicas sequenciais e não-sequenciais; Métodos contínuos e intermitentes; Covariâncias e correlações dos erros de background e análise; Determinação das matrizes de erro; Controle de qualidade de informações; O estado da arte em assimilação de dados na América do Sul com ênfase nos desenvolvimentos no Brasil.

Bibliografia

Daley, R., 1991: **Atmospheric Data Analysis**. Cambridge Univ. Press

Evensen, G . **Data Assimilation: The Ensemble Kalman Filter**. Springer, 307 pp. 2009.

Kalnay, E., 2003: **Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability**. Cambridge Univ. Press.

Todling, R., 1996: **Notas de Aula - Teoria da Estimção e Assimilação de Dados Atmosféricos**. Disponível na Biblioteca do CPTEC/INPE.

MET-551-3	Meteorologia Tropical
------------------	------------------------------

Docente Responsável: José Antonio Marengo Orsini

- 1) Histórico e evolução da Meteorologia Tropical (estudos observacionais e de modelagem climática) no mundo e no Brasil.
- 2) Aspectos observacionais das Circulações de Hadley e de Walker e da circulação geral dos trópicos: histórico e evolução de estudos.
- 3) Revisão e evolução dos conceitos de Ondas Tropicais: origem (instabilidade barotrópica, instabilidade condicional do segundo tipo – CISK e interação trópicos/extratropicos), energética, interação entre o escoamento zonal e as ondas tropicais.
- 4) Variabilidade de baixa frequência e teleconexões: MJO, ENOS, PDO, AAO, NAO, QBO. Discussões e análises de estudos recentes. Potencial de previsão de clima nestas escalas de tempo.

- 5) Interações trópicos-extratrópicos.
- 6) Monção: Ásia, Austrália, África, Américas.
- 7) Distúrbios na circulação tropical: tempestades, ciclones tropicais e furacões. Observações e simulações na região tropical.
- 8) Extremos climáticos: Definições, discussões sobre definições baseados em valores limites e percentiles, observações e simulações na região tropical com ênfase em extremos de chuva, tempestades e furacões.
- 9) Previsão climática: evolução da previsão climática, métodos de previsão usado nos diferentes Centros climáticos mundiais, previsão de extremos climáticos. Desafios da previsão sazonal nos trópicos: início e fim da estação chuvosa.
- 10) Paleoclimatologia tropical: Reconstruções climáticas baseadas em indicadores climáticos e simulações usando modelos. Paleoclimas tropicais no Brasil e no mundo (ênfase nos paleoclimas das monções).
- 11) Mudanças climáticas na região tropical. Impactos das mudanças climáticas e análises de vulnerabilidade no Brasil e no mundo. Clima na região tropical.

Bibliografia

- Bolin, B.; Doos, B.; Jager; Warrick, R. A. **SCOPE 29: The Greenhouse Effect, Climate Change and Ecosystems**. Chichester, John Wiley & Sons, 1986, 541 p.
- Bretherton, F. P. Ocean Modeling. **Progress in Oceanography**, II:93-129, 1982.
- Charney, J. G. On the Scale of Atmospheric motions. **Geophysical Publications**, 17(2):1-17, 1948.
- Charney, J. G. Planetary Fluid Dynamics. In: Morell P. D. (ed.) **Dynamic Meteorology**. Hingham, Reidel, 1973.
- Diaz, H.; Markgraf, V. **El Nino and the Southern Oscillation**. Cambridge University Press, 2000.
- Gill, A. E. **Atmosphere-Ocean Dynamics**. New York, Academic Press, 1982.
- Goldemberg, J. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. São Paulo, EDUSP, 1998.
- Hastenrath, S. **Climate Dynamics of the Tropics**. Kluwer Academic Publishers, 1991.
- Henderson-Sellers, A.; McGuffie, K. **A climate modelling primer**. New York, John Wiley & Sons, 1987.
- Holton, J. R. **An Introduction to Dynamic Meteorology**. 4^a ed., Burlington, Elsevier, Academic Press, 2004.
- Karoly, D. J.; Vincent, D. G. **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston, MA, American Meteorological Society, 1999. (Meteorological Monographs).

- Hoskins, B.; Pearce, R. (eds.) **Large-scale dynamical processes in the atmosphere**. London, Academic Press, 1983.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis Summary for Policymakers Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2007a, 18 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) **Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability Summary for Policymakers**. 2007 b, 23 p.
- Lorenz, E. N. **The nature and theory of the general circulation of the atmosphere**. Genève, WMO, 1967. (WMO n. 218, PT 115).
- Markgraf, V. **Interhemispheric climate links**. Academic Press, 2001.
- Palmen, E.; Newton, L. W. **Atmospheric Circulation Systems**. New York, Academic Press, 1969.
- Peixoto, J. P.; Oort, A. H. **Physics of Climate**. American Institute of Physics, 1992.
- Philander, G. **El Nino, La Nina and the Southern Oscillation**. Academic Press, 1990.
- Preisendorfer, R. W. **Principal Components Analysis in Meteorology and Oceanography**. Elsevier, 1988.
- Pulwarty, R. Diaz, H. **Hurricanes**. Berlim, Springer, 1997.
- Storch H.; Zweirs, F. W. **Statistical Analysis in Climate Research**. Cambridge, University Press, 2000.
- Peixoto, J. P.; Oort, A. R. **Physics of Climate**. New York, American Institute of Physics, 1992.
- Riehl, H. **Climate and Weather in the Tropics**. New York, Academic Press, 1979.
- Schneider, S. H.; Dickinson, R. E. Climate Modeling. **Review Geophysics Space Physics**, 12:447-493, 1974.
- Trenberth, K. E. **Climate System Modeling**. Cambridge, University Press, 1995.
- Wallace, J. M. General Circulation of the Tropical Lower Stratosphere. **Review of Geophysics and Space Physics**, 11(2):191-222, 1973.

MET-560-3	Métodos Matemáticos em Meteorologia
------------------	--

Docente Responsável: Luiz Fernando Sapucci

Revisão de álgebra Linear e cálculo matricial, Introdução a teoria da estimação; Processos estocásticos; Distribuição de Probabilidades; Lei da Propagação das Covariâncias; Matriz de

Variância-Covariância; Classificação dos Erros nas observações e controle de qualidade; Ajustamento de observações; Matriz de Pesos; Sistemas Estáticos v.s. Sistemas Dinâmicos; Cálculo variacional e teoria de conjuntos aplicados à PNT; Soluções determinísticas e estocásticas; Redundância e incerteza nas soluções; Teoria de processamento por ensemble;

Bibliografia

Evensen, G. **Data Assimilation: The Ensemble Kalman Filter**. I Springer, 307 pp. 2009.

Kalnay, E.: **Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability**. Cambridge University Press, 341 pp, 2003.

Lahoz, W., Khattatov, B., Ménard, R. (eds.): **Data assimilation: Making sense of observations**. Heidelberg, Springer. 2010.

Lewis, J. M.; Lakshmivarahan, S.; Dhall, S.: **Dynamic Data Assimilation: A Least Squares Approach**, Cambridge University Press, 2006.

Lynch, P.: **The Emergence of Numerical Weather Prediction: Richardson's Dream**. Cambridge University Press, 290 pp., 2006.

MET-565-3	Micrometeorologia e Camada Limite Planetária
------------------	---

Docente Responsável: Gilberto Fernando Fisch

Pré-requisitos:), Termodinâmica da Atmosfera e Física de Nuvens (MET-222-3), Radiação Atmosférica (MET-235-3), Interações Biosfera-Atmosfera (MET-419-3)

Definição de Micrometeorologia, estrutura e características da Camada Limite Planetária (CLP). Fundamentos da Turbulência Atmosférica e Escoamentos Viscosos. Características da Camada Limite Superficial e Teoria da Similaridade, Forçantes Externas e fluxos de energia nas superfícies e no topo da CLP. Medidas Observacionais da CLP e técnicas de simulação. Aspectos teóricos e observacionais da estrutura da Camada Limite Convectiva – CLC e modelagem do crescimento. Aspectos teóricos e observacionais da estrutura da Camada Limite Estável – CLE e modelagem do crescimento.

Bibliografia

Arya, P. S. Introduction to Micrometeorology. Academic Press, 2 a ed., 2001, 420 p.

Foken, T. Micrometeorology. Springer-Verlag, 2008, 303 p.

Garratt, J.R. The atmospheric boundary layer. Cambridge University Press, 1992, 316 p.

Holtstag, A. A. M.; Duynkerke, P. G. Clear and Cloudy Boundary Layers. Royal Netherlands Academy of Arts and Science, 1998, 372 p.

Jordi Vilà-Guerau de Arellano, J. Chiel C. van Heerwaarden, Bart J. H. van Stratum, Kees van den Dries, Atmospheric Boundary Layer: Integrating Air Chemistry and Land Interactions Cambridge University Press, 2015, ISBN: 9781316117422, DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781316117422>

Kaimal, J. C.; Finnigan, J. J. Atmospheric boundary layer flows – their structure and measurements. Oxford University Press, 1994, 289 p.

Lee, X., Massman, W., Law, B. Handbook of micrometeorology: a guide for surface flux measurement and analysis. Springer-Verlag, 2004, 250 p.

Stull, R. B. An introduction to boundary layer meteorology. Kluwer Academic Press, 1988, 666 p.

Artigos especializados de revistas internacionais (Boundary Layer Meteorology, Agricultural and Forest Meteorology, Atmospheric Environment, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, etc).

MET-567-3	Modelagem Acoplada Oceano-Atmosfera
------------------	--

Docente Responsável: Paulo Nobre

Pré-requisito: Meteorologia Dinâmica I (MET-225-3)

Circulação geral dos oceanos e da atmosfera. Camadas de mistura no oceano e na atmosfera. Transporte de massa no oceano. Troca de momentum, de vapor d'água e de calor sensível e latente entre oceano e atmosfera. Parametrizações dos processos de troca. Efeitos do gelo e do mar. Distribuição espacial e temporal da Temperatura da Superfície do Mar (TSM). A Teoria do fenômeno El-Niño-Oscilação do Sul (ENOS). Os efeitos dos oceanos no clima do Brasil. Equações governantes de movimento, de estado e de termodinâmica da atmosfera e do oceano. Modelos de água rasa. Modelos baroclínicos separados para circulação da atmosfera e do oceano. Modelos da circulação geral acoplados determinísticos. Modelos estocásticos de previsão climática. Processos costeiros (contrastes térmicos, brisas, etc) e sua importância na modelagem regional e de mesoescala. Sistemas de observação oceânicos. Previsibilidade do sistema acoplado oceano-atmosfera.

Bibliografia

Beljaars, A. C. M.; Holtstag, A. A. M. On flux parameterization schemes for atmospheric models. **Journal of Applied Meteorology**, 30:327–341, 1991.

Brutsaert, W. A. **Evaporation into the Atmosphere: Theory, History and Applications**. Dordrecht, NL: Reidel, 1982.

De Almeida, R. A. F., P. Nobre, R. J. Haarsma, and E. J. D. Campos: Negative ocean–atmosphere feedback in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Geophysical Review**, vol. 34, 2007. (doi:10.1029/2007GL030401).

Liu, W. T.; Katsaros, K. B.; Businger, J. A. Bulk parameterization of air-sea exchange of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface. **Journal of Atmospheric Science**, 36:1722-1935, 1979.

Neelin, J. D.; Battisti, D. S.; Hirst, A. C.; Jin, F.-F.; Wakata, Y.; Yamagata, T.; Zebiak, S. E. ENSO Theory. **Journal of Geophysical Research**, 103:14261-14290, 1998.

Nobre, P.; Shukla, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, 9:2464-2479, 1996.

WMO **Scientific Plan for the TOGA coupled ocean-atmosphere response experiment**. Genève, 1990. (WCRP Pub. Ser. n. 3 TD 64).

MET-572-3	Modelagem e Previsão Climática
------------------	---------------------------------------

Docente Responsável: Caio Augusto dos Santos Coelho

O clima e o sistema climático: Definição de clima; componentes do sistema climático; processos físicos fundamentais incluídos em modelos climáticos;

Avaliação das seguintes características em modelos climáticos: Climatológicas de longo período, anomalias, ciclo anual, variabilidade interanual e distribuições de probabilidade; Importância das distribuições de probabilidade para estudos de variabilidade, previsão e mudança climática;

Variabilidade climática: Circulação geral da atmosfera; Padrões e fenômenos climáticos globais e regionais relevantes para as condições climáticas da América do Sul/Brasil e suas representações em modelos climáticos;

Modelagem Climática: Introdução; base física da modelagem climática; classificação, hierarquia e tipos de modelos climáticos; formulações numéricas; equações primitivas; parametrizações;

Previsão e previsibilidade climática sazonal: objetivo da previsão climática sazonal, viabilidade de produzi-la e reconhecimento da natureza probabilística dessa previsão;

Modelos climáticos e técnicas de previsão climática sazonal; Atual nível de destreza das previsões dos modelos climáticos;

Procedimentos de elaboração de previsões climáticas sazonais baseados em previsões numéricas geradas por modelos climáticos;

Calibração e combinação de previsões climáticas sazonais produzidas por modelos climáticos;

Verificação de previsões climáticas sazonais produzidas por modelos climáticos através de métricas determinísticas e probabilísticas.

Bibliografia:

Jolliffe I. and D. B. Stephenson. **Forecast verification. A Practitioner's guide** in atmospheric science. Wiley. 2003. 240p.

Stephenson D.B., C. A. S. Coelho, F. J. Doblas-Reyes, M. Balmaseda, 2005: **Forecast assimilation: a unified framework for the combination of multi-model weather and climate predictions**. Tellus, Vol 57, 3.

Trenberth, K. E. **Climate System Modeling Cambridge**: University Press, 1995.

Van den dool Huug. **Empirical methods in short-term climate prediction**. Oxford University Press, 2007, 215p.

Viatcheslav V. Kharin and Francis W. Zwiers, 2002: **Climate Predictions with Multimodel Ensembles**. J. Climate, 15, 793–799.

Wallace, J. M.; Hobbs, P. V. **Atmospheric Science: an Introductory Survey**. Academic Press, 2a ed., 2006, 483p.

Wilks D.S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2nd Edition. Academic Press, 2006. 627p.

MET-348-3	Previsão Numérica de Tempo e Clima
------------------	---

Docente Responsável: Paulo Yoshio Kubota

Estudo dos fundamentos teóricos, metodológicos, computacionais e operacionais da Previsão Numérica de Tempo e Clima (PNTC). Introdução à modelagem numérica da atmosfera, estrutura das equações governantes, aproximações dinâmicas e sistemas simplificados de previsão. Análise da previsibilidade atmosférica, caos e crescimento de perturbações. Aplicações de modelos barotrópicos e baroclínicos, técnicas de filtragem, condições de contorno e parametrizações físicas em Previsão Numérica de Tempo. Assimilação de dados, inicialização e influência da condição inicial em modelos numéricos. Modelagem acoplada oceano-atmosfera fundamentos da previsão sub-sazonal e sazonal. Avaliação estatística de desempenho dos modelos numéricos e métricas de qualidade da previsão. Os principais objetivos da disciplina são: Compreender os fundamentos dinâmicos e numéricos por trás dos modelos de previsão de tempo e clima; Analisar a sensibilidade das previsões à condição inicial e o papel do caos atmosférico; Aplicar modelos simplificados (barotrópicos e baroclínicos) para compreender processos atmosféricos fundamentais; Estudar os impactos dos principais esquemas de parametrização física utilizados em modelos na previsão numérica de tempo e clima; Introduzir métodos modernos de assimilação de dados atmosféricos. Desenvolver a compreensão sobre previsibilidade e avaliação estatística das previsões. Conhecer os princípios da modelagem acoplada oceano-atmosfera em escalas sub-sazonais e sazonais.

Tópicos abordados: 1. Introdução à Previsão Numérica de Tempo e Clima; Visão Geral da Modelagem Numérica; Caos e Previsão de Tempo; Equações Primitivas versus Equações Governantes; Relações entre Oscilações Atmosféricas e Teoria da Perturbação Linear com a PNTC; Aproximação Quase-Geostrófica e Aplicações em PNT; Evolução da Modelagem para Previsão Numérica de Tempo; Modelos Simplificados; Condições de Contorno em Modelos de PNT; Filtragem de Ondas, Projeções e Coordenadas Verticais; Condição Inicial e Instabilidade Não Linear; Parametrizações Físicas na PNTC; Métodos de Assimilação de Dados; Modelagem Acoplada Oceano–Atmosfera; Previsibilidade do Tempo; Métricas Estatísticas

Bibliografia:

Holton, J. R. An introduction to Dynamic Meteorology. New York, Academic Press, Inc., 4ª ed., 2004, 511 p.

Kalnay, E. 2003: Atmospheric modeling: data assimilation and predictability. Cambridge, UK. Cambridge University Press.

Warner, T. T. 2011: Numerical Weather and Climate Prediction, 512pp.

Washington, W.M.; Parkinson, Cl. L. 1986: An introduction to three-dimensional climate modeling. Oxford University Press. 422pp.

Trenberth, K. 1995: Climate system modeling. Cambridge University Press.

MET – 336-3	Oceanografia Física
--------------------	----------------------------

Docente Responsável: Luciano Ponzi Pezzi

Pré-requisito: Meteorologia Dinâmica I (MET-225-3)

Aspectos introdutórios à Oceanografia Física. Circulação geral da atmosfera e dos oceanos. O sistema global de ventos superficiais sobre os oceanos. Circulação superficial nos oceanos resultantes do efeito dos ventos superficiais: Giros subtropicais, sistemas equatoriais de correntes, circulação em Altas Latitudes. Circulação profunda nos oceanos derivada dos movimentos termoalinos. Interação oceano-atmosfera e fluxos turbulentos de calor, CO₂ e momentum na interface oceano-atmosfera. Conceitos de modelagem numérica do sistema terrestre, dos oceanos e acoplada oceano-atmosfera (cobrindo escalas de tempo sinótica e sazonal climática). Tópicos especiais: ENOS, Variabilidade do Atlântico Tropical e Confluência Brasil-Malvinas.

Bibliografia

- Csanady, G.T., 2001. **Air-Sea interaction. Laws and Mechanism**. Cambridge University Press.
- Griffies, S.M., 2004. **Fundamentals of Ocean Climate Models**. 1st ed. Princeton University Press.
- Knauss, J.A., 1997. **Introduction to Physical Oceanography**. 2nd ed. Prentice Hall
- Pezzi, L. P.; Souza, R. B. 2009. **Variabilidade de mesoescala e interação Oceano-Atmosfera no Atlântico Sudoeste**. In: Iracema F. A. Cavalcanti; Nelson J. Ferreira; Maria Assunção F. Dias; Maria Gertrudes A. Justi. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, v. 1, p. 385405.
- Pickard, G.L. and W.J.Emery, 1990. **Descriptive Physical Oceanography**. 5th ed. Pergamon Press.
- Pond, S. and Pickard, 1983. **Introductory Dynamical Oceanography**. 2nd ed. Butterworth Heinemann.
- Siedler, G., Church, J. and Gould, J., 2001. **Ocean Circulation and Climate. Observing and Modelling the Global Ocean**. Academic Press. International Geophysics Series. Volume 77.
- The Open University, 1998. **Ocean Circulation**. 1st ed. Butterworth Heinemann. 242 pp
- The Open University, 1994. **Waves, tides and shallow water processes**, Oxford. 187 pp.
- Tomczak, M. & J. S. Godfrey, 1994. **Regional Oceanography: an introduction**. Pergamonn Press, London. 422 pp.

MET-577-3	Oceanos e Criosfera no Sistema Terrestre
------------------	---

Docente Responsável: Ronald Buss de Souza

Definições e componentes do Sistema Terrestre. A importância dos oceanos e da criosfera para o clima. Variabilidade e mudanças no Sistema Terrestre. Física e biogeoquímica dos oceanos: propriedades, variáveis e observações. Oceanografia por Satélites. A representação dos oceanos em modelos numéricos de clima. Processos de interação oceano-atmosfera-criosfera. Massas d'água: caracterização, formação, ventilação, circulação marinha e a AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation). Observações e modelagem do gelo marinho. Fenômenos e conexões climáticas: El Niño-Oscilação Sul, Modo Anular Sul (Oscilação Antártica), Oscilação do Atlântico Norte, Oscilação Decadal do Pacífico, Variabilidade do Atlântico Tropical e outras. Os relatórios do IPCC: Oceanos e Criosfera num clima em mudanças. Impactos e mitigação.

Bibliografia:

IPCC (2019). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer, Eds. 1170 pp.

Jacobson, M.; Charlson, R. J.; Rodhe, H.; Orians, G. H. (2000). Earth System Science: From Biogeochemical Cycles to Global Changes. 1st. Ed. Elsevier Academic Press, Oxford, UK, ISBN 978-0123793706

Lenton, T. (2016). Earth System Science: A Very Short Introduction. International Geophysics Series Volume 72, Oxford University Press, Oxford, UK. ISBN 978-0198718871.

SCAR (2009). Antarctic Climate Change and the Environment. Turner, J.; Bindchardler, R.; Convey, P.; di Prisco, G.; Fahrbach, E.; Gutt, J.; Hodgson, D.; Mayewski, P.; Summerhayes, C., Eds. Scientific Committee on Antarctic Research, Scott Polar Research Institute, Cambridge, UK, Version 1.1 25. ISBN 978-0-948277-22-1

Summerhayes, C. (2009). The Antarctic environment in the global system: In: Turner, J.; Bindchadler, R.; Convey, P.; di Prisco, G.; Fahrbach, E.; Gutt, J.; Hodgson, D.; Mayewski, P.; C. Summerhayes (Eds.): Chapter 1, Antarctic Climate Change and the environment: a contribution to the International Polar Year 2007-2008. Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR), Victoire Press, Cambridge.

Zhang, Z.; Moore, J. (2014). Mathematical and Physical Fundamentals of Climate Change. 1st Ed. Elsevier Academic Press, Oxford, UK, ISBN: 9780128005835. 494 pp.

MET-574-3	Sensoriamento Remoto da Atmosfera II
------------------	---

Docente Responsável: Nelson Jesuz Ferreira

Pré-requisito: Radiação Atmosférica (MET-223-3) e Sensoriamento Remoto da Atmosfera I (MET-573-3)

Conceitos, aplicações e tópicos especiais envolvendo as leis fundamentais da radiação e transferência radiativa; diagnostico de nuvens, sistemas meteorológicos e escalas de variabilidade, sistemas convectivos e precipitação, detecção de queimadas e aerossóis, assimilação de dados, oceanografia, balanço de radiação, estimativas de ventos por satélites e sondagens.

Atividade teórico-prática: desenvolvimento de um projeto aplicado a um dos tópicos da disciplina, destacando a interpretação física dos resultados e a análise crítica das limitações metodológicas

Bibliografia

Carleton, A. M. Satellite remote sensing in climatology. Belhaven Press (London) and CRC Press (Boca Raton), 1991.

Ferreira, N. J.; Cavalcanti, I. F. de A. (Orgs.). Sistemas meteorológicos atuantes no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 1. ed., 2022. ISBN 978-65-86235-52-4.

Goody, R. M. Atmospheric Radiation: Theoretical Basis. Oxford, Clarendon Press, 1964.

Kidder, S. Q.; Vonder Haar, T. H. Satellite Meteorology: An Introduction. San Diego, CA, Academic Press, 1995.

Liou, K. N. An Introduction to Atmosphere Radiation. 2a ed., Academic Press, 1980.

Setzer, A. W.; Ferreira, N. J. (organizadores). Queimadas e incêndios florestais : mediante monitoramento orbital. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. 296 p. ISBN 978-85-7975-318-3.

Ulaby, F. T. Active Microwave Determinations of Soil Moisture. In: Vol. II - Manual of Remote Sensing. Falls Church, Virginia, American Society of Photogrammetry, Jan. 1975.

Vaughan, R. A. Remote Sensing Applications in Meteorology and Climatology. Edited by. Dordrecht, The Netherlands: D. REIDEL Publishing Company, NATO Advanced Science Institutes Series, 1987.

MET-570-3	Sinótica Avançada
------------------	--------------------------

Docente Responsável: Manoel Alonso Gan

Teoria e Modelos Conceituais de frentes, frontogênese e ciclones extratropicais; Ciclogênese e frontogênese; Classificação dos ciclones; Energética dos ciclones; Alta da Bolívia; Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis; Zona de Convergência Intertropical; Storm Tracks; Padrões atmosféricos associados ao tempo e clima na região (teleconexões, bloqueio atmosférico, PSA); Elaboração de previsão de tempo e discussão do tempo; Circulação de monção e sua conexão com os sistemas transientes.

Bibliografia

Bader, M.J. et al., 1995: Images in weather forecasting – A practical guide for interpreting satellite and radar imagery. New York, Cambridge University Press, 499 p.

Bluestein, B. B., 1992: Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes. Vol. I e II, Oxford University Press. 430 p. e 594 p.

Chang E.; I. Orlanski, 1993: On the dynamics of a storm track. **J. Atmos. Sci.**, 50(7),999-1015.

Gan M.A., 1992: **Ciclogênese e ciclones sobre a América do Sul**. Tese de Doutorado em Meteorologia, INPE. (INPE/5400-TDI/479).

Hayes, J.L., R.T. Williams, M.A. Rennick, 1987: Lee Cyclogenesis. Part I: Analytic Studies. **Journal of the Atmospheric Sciences**. 44(2), 432–442.

Hoskins B.; R. Pearce, 1983: **Large-scale dynamical processes in the atmosphere**. Academic Press. 397 p.

M.E. McIntyre, A.W. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, 111, 368-384.

McIntyre, M. E., W. A. Norton, 2000: Potential Vorticity Inversion on a Hemisphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**. 57(9), 1214–1235.

Smith, R.B., 1984: A theory of a Lee cyclogenesis. **J. Atmos. Sci.**, 41,1159-1168.

Yamagishi, Y., 1980: Simulation of the air mass transformation processes using a numerical model with the detailed boundary layer parametrization. **Journal Meteorological Society of Japan**, 58, 357-377.

MET-429-3	Tópicos Especiais em Modelagem Ambiental
------------------	---

Docente Responsável: Saulo Ribeiro de Freitas e Karla Maria Longo de Freitas

Pré-requisitos: Meteorologia Dinâmica I (MET-225-3), Termodinâmica da Atmosfera e Física de Nuvens (MET-222-3) e Radiação Atmosférica (MET-235-3)

Poluentes Atmosféricos: caracterização e fontes (gases e partículas de aerossol). Efeitos da poluição atmosférica na saúde humana e nas propriedades atmosféricas. Padrões de qualidade do ar. Absorção e espalhamento de radiação por gases e partículas de aerossol. Química atmosférica de gases: reações fotoquímicas, química da troposfera, química da estratosfera. Equação da Continuidade de gases e partículas: abordagens Euleriana e Lagrangiana; descrição dos termos de transporte, fontes, sumidouros, reações químicas e processos de microfísica de partículas; decomposição de Reynolds e discretização para solução numérica; Separação de escalas, termos de transporte na escala da grade e sub-grade; Processos de emissão, deposição seca e úmida e sedimentação; reatividade química. Solução numérica da equação da continuidade: Métodos de solução da equação da advecção; Métodos de solução dos termos de transporte sub-grade; Modelagem da emissão, deposição seca e úmida e sedimentação; Modelagem de reatividade química; Acoplamento com modelos atmosféricos. Modelo de transporte 2D (x-z) e aplicação ao ciclo do carbono: Introdução ao ciclo do carbono; Acoplamento de fontes e sumidouros, simulações numéricas do transporte e do efeito retificador.

Bibliografia

Brasseur, G. P.; Prinn, R. G.; Pszenny, A. A. P. (Eds.) **Atmospheric Chemistry in a Changing World**. Heidelberg, Germany, Springer Verlag, 2003.

Jacobson, M. **Fundamentals of Atmospheric Modeling**. Cambridge, Cambridge University Press, 1999, 656 p.

Jacobson, M. **Atmospheric Pollution: History, Science and Regulation**. Cambridge, Cambridge University Press, 2002.

Pielke, R. A. **Mesoscale Meteorological Modeling**. New York, Academic Press, 1974, 612p

Seinfeld, J. H. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution**. New York, John Wiley & Sons, 1986, 738 p.

Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. USA, A Wiley-Interscience Publication, 1998, 1326 p.

Stull, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, 1988, 666 p.

MET-561-3	Meteorologia por radar
------------------	-------------------------------

Docente Responsável: Thiago Souza Biscaro

Pré-requisito: Termodinâmica da Atmosfera e Física de Nuvens (MET-222-2) e Radiação Atmosférica (MET-223-3)

Funcionamento do radar meteorológico, componentes do radar, e configurações de varredura. Estratégias de varredura e produtos básicos. Equação do radar. Alvos distribuídos: amostragem, equação do radar e refletividade. Radar doppler: observação de velocidade, velocidade não-ambígua. Distribuição de tamanho de gotas e função gama. Estimativa de precipitação com radar. Radar de dupla polarização. Classificação de hidrometeoros. Uso do radar em *nowcasting*. Manipulação de dados brutos e geração de produtos.

Bibliografia

Rauber, R. M., & Nesbitt, S. W. (2018). Radar meteorology: A first course. Wiley, 461pp.

Fukao, S., & Hamazu, K. (2013). Radar for Meteorological and Atmospheric Observations. Springer, 537pp.

Ryzhkov, A. V., & Zrnić, D. S. (2019). Radar Polarimetry for Weather Observations. Springer, 486pp.
Battan, L. J. (1973). Radar Observation of the Atmosphere. University of Chicago Press, 331pp.
Doviak, R. J., & Zrnic, D. S. (1984). Doppler radar and weather observations. Academic Press, 562pp.

MET-578-4	Mudanças climáticas e desastres naturais
------------------	---

Docente Responsável: Carlos Afonso Nobre

Objetivos: Apresentar as relações entre mudanças climáticas de distintas origens (aquecimento global, mudanças dos usos da terra, urbanização, etc.) e desastres naturais deflagrados por extremos hidrometeorológicos e climáticos, especialmente para o Brasil.

Conteúdo: A física das mudanças climáticas: aquecimento global, mudanças climáticas regionais devido a alterações na vegetação, efeitos climáticos da urbanização. A física dos desastres naturais causados por extremos hidrometeorológicos e climáticos. Projeções futuras de mudanças climáticas. Impactos das mudanças climáticas nos extremos deflagradores de desastres naturais: tempestades e chuvas intensas, furacões, secas extremas, ondas de calor, aumento do nível do mar e ressacas. Mudanças climáticas e projeções de riscos de desastres naturais. Impactos das mudanças climáticas e gerenciamento de riscos: adaptação e resiliência.

1 - **Introdução:**

- Noções de Tempo e Clima;
- O Efeito Estufa (Parte I);
- Evidências das Mudanças Climáticas;
- Mudanças Climáticas e as Atividades Humanas;
- Uma Visão Integrada do Sistema Terrestre e Componentes;
- O Histórico das Negociações Climáticas até o Acordo de Paris de 2015;
- Projeções Futuras, Agenda 2030, Riscos e os Limites Planetários;
- Brasil: O impacto das Mudanças Climáticas, Adaptação e Mitigação.

2 - **O que são as Mudanças Climáticas:**

- História da Formação do Clima Terrestre;
- Forçantes Externas e Internas;
- A física do Efeito Estufa Atmosférico (Parte II);
- As Emissões Globais de Gases de Efeito Estufa (GEE);

- Emissões Setoriais de GEE;
- Ciclos Biogeoquímicos Globais.

3 - O Mundo no Futuro - Modelos e Simulações Climáticas:

- Modelos do Sistema Climático Global;
- Projeções de Mudanças Climáticas Futuras;
- Modelagem Regional (Downscaling Dinâmico);
- Laboratório Prático: Projeções de Modelos Climáticos Globais e Regionais.

4 - Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação das Mudanças Climáticas no Mundo e no Brasil:

- Mudanças Climáticas Globais e Regionais;
- Saúde Humana;
- Ecossistemas e Biodiversidade;
- Infraestrutura;
- Energia;
- Recursos Hídricos.

5 – Mudanças Climáticas e Desastres Naturais:

- Observação sobre mudanças dos extremos de temperatura e precipitação;
- Projeção futura sobre os extremos de temperatura e precipitação;
- Mudanças observadas dos extremos e desastres naturais;
- Projeção do aumento de desastres naturais;
- Principais Vulnerabilidades em Escala Regional no Brasil ao aumento projetado dos desastres naturais;
- Estratégias e Práticas de Adaptação para o Brasil.

Bibliografia:

Abbot. Package: Natural Disasters with Connect Access Card. McGraw-Hill Education. 2015. Boulter and Palutikof (Eds). Natural Disasters and Adaptation to Climate Change. Cambridge University Press. 2013 (288p).

Hallegatte. Natural Disasters and Climate Change: An Economic Perspective. Springer. 2014 (194p).

IPCC. Fifth Assessment Report. Climate Change 2014: Synthesis Report. Cambridge University Press. 2014 (151p).

IPCC. Fifth Assessment Report. Working Group I Report. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. 2013.

IPCC. Fifth Assessment Report. Working Group I Report. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press. 2013.

IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge University Press. 2012 (582p).

Prasad et al.. Climate Resilient Cities: A Primer on Reducing Vulnerability to Disasters. The World Bank, 2009 (1578p).

Smith and Petley. Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disasters.

Routledge, 2009 (383p). The World Bank. Natural Hazards, UnNatural Disasters: the Economics of Effective Prevention. The World Bank and the United Nations. 2010 (254p).

Thomas. Climate Change and Natural Disasters: Transforming Economies and Policies for a Sustainable Future.

Routledge. 2017. (182p). Universidade Federal de Santa Catarina. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais. 1991 a 2010. Volume Brasil.

CEPED UFSC, 2012 (94p). Wollershein. Climageddon: The Global Warming Emergency and How to Survive It. Job One for Humanity (F.A.C.T.net). 2017 (450p).

MET-580-3	Métodos Avançados em Assimilação de Dados com Aplicações em IA
------------------	---

Docente Responsável: Luis Gustavo G Gonçalves

Pré-requisitos: Meteorologia Dinâmica I (MET-225-3) e Introdução à Assimilação de Dados (MET-563-3).

Estudo aprofundado dos métodos avançados de assimilação de dados (AD) para inicialização de modelos meteorológicos e climáticos. Aborda a teoria e prática de métodos variacionais (3D/4D-Var) e sequenciais baseados em ensembles (EnKF, EnSRF), com ênfase na estimativa de covariâncias de erro, localização e inflação. Explora a integração estratégica de técnicas de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina (IA/ML) para superar limitações computacionais e de representatividade na AD, como a emulação de modelos, a modelagem de covariâncias complexas e a assimilação de dados não convencionais. Inclui aplicações em sistemas de previsão regional e global, com discussão crítica de estudos de caso para a América do Sul e do papel da AD em modelos de nova geração.

Conteúdo Programático:

Revisão Crítica e Fundamentos Teóricos Avançados;

Métodos Variacionais e Híbridos em Sistemas Operacionais;

Técnicas em Assimilação por Ensemble;

Integração de IA/ML como Componente de Sistemas de AD;

Tópicos de Fronteira e Seminários.

Bibliografia Básica:

Kalnay, E. Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. Cambridge University Press, 2003.

Asch, M., Bocquet, M., Nodet, M. Data Assimilation: Methods, Algorithms, and Applications. SIAM, 2016.

Artigos selecionados de periódicos como: Monthly Weather Review, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Journal of Advances in Modeling Earth Systems.

Bibliografia Complementar:

Cutt-edge Research: Artigos sobre integração de modelos de difusão com DA, modelos de previsão por IA (ex.: GraphCast), e projetos de pesquisa que unem AD e redes neurais em modelos conceituais.

Material técnico de centros operacionais (JCSDA, ECMWF, CPTEC/INPE).

Os trabalhos auxiliares ou finais de programa de Pós-Graduação são identificados na forma indicada a seguir:

EST	Estudo Orientado em Meteorologia
------------	---

Até 4 créditos

MET-730	Pesquisa de Mestrado em Meteorologia*
----------------	--

0 créditos

MET-750	Dissertação de Mestrado em Meteorologia
----------------	--

12 créditos

MET-780	Pesquisa de Doutorado em Meteorologia*
----------------	---

0 créditos

MET-800	Tese de Doutorado em Meteorologia
----------------	--

36 créditos

*Atividade obrigatória, em cada período letivo, para todo aluno em fase de Pesquisa.

Catálogo aprovado pelo CPG em 11/12/2025.