

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

---

### Coordenador Acadêmico

Dirceu Luís Herdies

### Membros do Conselho do Programa

Simone Marilene Sievert da Costa, vice-coordenadora  
Luiz Fernando Sapucci  
Paulo Nobre  
Julio Pablo Reyes Fernandez  
Ana Lucia da Silva Nascimento – Representante Discente  
Nicole Cristine Laureanti – Suplente Representante Discente

### Corpo Docente Permanente

1. Antonio Ocimar Manzi, Ph.D., Université de Toulouse III, 1993
2. Caio Augusto dos Santos Coelho, Ph.D. University of Reading, 2005
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. José Paulo Bonatti, Doutor, INPE, 1988.
10. Julio Pablo Reyes Fernandez, Doutor, INPE, 2004
11. Luciano Ponzi Pezzi, Ph.D., University of Southampton, 2003
12. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves, Ph.D., University of Arizona, 2005
13. Luiz Augusto Toledo Machado, Doutor, Université de Paris VI, 1992
14. Luiz Fernando Sapucci, Doutor, UNESP, 2005
15. Manoel Alonso Gan, Doutor, INPE, 1992
16. Marcelo Enrique Seluchi, Doutor, Universidad de Buenos Aires, 1993
17. Mary Kayano, Doutora, INPE, 1986
18. Natália de Moraes Rudorff, Doutora, INPE, 2013
19. Paulo Yoshio Kubota, Doutor, INPE, 2012
20. Paulo Nobre, Ph.D., University of Maryland, 1993
21. Ronald Buss de Souza, Ph.D., University of Southampton, 2000
22. Saulo Ribeiro de Freitas, Doutor, USP, 1999
23. Silvio Nilo Figueroa Rivero, Doutor, INPE, 1997
24. Simone Marilene Sievert da Costa, Ph.D., University of Reading, 2006

### Corpo Docente Colaborador

25. Daniel Alejandro Vila, Doutor, Universidad de Buenos Aires, 2005
26. Nelson Jesus Ferreira, Ph.D., University of Wisconsin, 1987
27. Renato Galante Negri, Doutor, INPE, 2012
28. Dr. Juan Ceballos, Doutor, USP, 1986 - **Pesquisador Emérito\***

\* O título de **Pesquisador Emérito** é conferido a docentes da PGMET que se destacaram no exercício da atividade acadêmica e por seus relevantes serviços à ciência e à instituição.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
METEOROLOGIA**

---

**PROGRAMAÇÃO 2022 DAS DISCIPLINAS  
PARA O MESTRADO E DOUTORADO**

**1º Período Letivo**

**OBRIGATÓRIAS**

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

**ELETIVAS**

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

**2º Período Letivo**

**OBRIGATÓRIAS**

<b>MET-341-3</b>	Meteorologia Dinâmica II	Dr. José Paulo Bonatti
<b>MET-347-3</b>	Meteorologia Sinótica	Dr. Marcelo Enrique Seluchi
<b>MET-573-3</b>	Sensoriamento Remoto da Atmosfera I	Dra. Natália de Moraes Rudorff Dr. Renato Galante Negri
<b>MET-348-3</b>	Previsão Numérica de Tempo e Clima	Dr. Julio Pablo Reyes Fernandez

**ELETIVAS**

<b>MET-336-4</b>	Oceanografia Física	Dr. Luciano Ponzi Pezzi
<b>MET-419-3</b>	Interações Biosfera-Atmosfera	Dr. Antonio Ocimar Manzi
<b>MET-567-3</b>	Modelagem Acoplada Oceano-Atmosfera	Dr. Paulo Nobre
<b>MET-554-3</b>	Dinâmica da Mesoescala	Dra. Chou Sin Chan

**3º Período Letivo**

**ELETIVAS**

<b>MET-576-4</b>	Modelagem Numérica da Atmosfera	Dr. Paulo Yoshio Kubota
<b>MET-557-3</b>	Climatologia Dinâmica	Dra. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti
<b>MET-563-3</b>	Introdução à Assimilação de Dados	Dr. Luís Gustavo Gonçalves de Gonçalves Dr. Dirceu Luís Herdies
<b>MET-565-3</b>	Micrometeorologia e CLP	Dr. Gilberto Fisch
<b>MET-570-3</b>	Sinótica Avançada	Dr. Manoel Alonso Gan
<b>MET-572-3</b>	Modelagem e Previsão Climática	Dr. Caio Augusto dos Santos Coelho
<b>MET-574-3</b>	Sensoriamento Remoto da Atmosfera II	Dr. Nelson Jesus Ferreira
<b>MET-335-3</b>	Métodos Estatísticos em Climatologia	Dra. Mary Kayano
<b>MET-429-3</b>	Tópicos Especiais em Modelagem Ambiental	Dr. Saulo Ribeiro de Freitas

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
METEOROLOGIA**

---

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS OBRIGATÓRIAS**

<b>MET-222-3</b>	<b>Termodinâmica da Atmosfera e Física de Nuvens</b>
------------------	--

**Docente Responsável:** Silvio Nilo Figueroa

Termodinâmica da Atmosfera: Equação do Estado; Equação Hidrostática; Primeira Lei da Termodinâmica aplicada a uma parcela de ar; estabilidade estática do ar seco; variáveis de umidade; Equação de Clausius-Clapeyron; termodinâmica do ar úmido; instabilidade condicional, latente e potencial; diagrama de fases da água; plotagem de perfis no Diagrama Skew T-Log-P. Física de Nuvens: Classificação de nuvens; nucleação, crescimento por condensação e por coleta em nuvens quentes; nucleação, crescimento por deposição e por coleta (*riming* e agregação) em nuvens frias; aspectos microfísicos de nuvens Cb e Ns.

**Bibliografia**

Bohren, C. F.; Albrecht, B. A. **Atmospheric Thermodynamics**. Oxford University Press, 1998, 402 p.  
Houze, R. A. **Cloud Dynamics**. Academic Press, 1993, 573p.  
Rogers, R. R.; Yau, M. K. **A Short Course in Cloud Physics**. Butterworth-Heinemann, 3ª ed., 1989, 308p.  
Wallace, J. M.; Hobbs, P. V. **Atmospheric Science: an Introductory Survey**. Academic Press, 2ª ed., 2006, 504p.

<b>MET-235-3</b>	<b>Radiação Atmosférica</b>
------------------	-----------------------------

**Docente Responsável:** Simone Marilene Sievert da Costa

Parâmetros astronômicos e terrestre. 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.

<b>MET-225-3</b>	<b>Meteorologia Dinâmica I</b>
------------------	--------------------------------

**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., 4ª 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.  
Notas de Aula: Preparadas pelo Professores do Curso.

<b>MET-341-3</b>	<b>Meteorologia Dinâmica II</b>
------------------	---------------------------------

**Docente Responsável:** José Paulo Bonatti

**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- $\beta$  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 Vírulas 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.

<b>MET-347-4</b>	<b>Meteorologia Sinótica</b>
------------------	------------------------------

**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., 4ª 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](http://www.cptec.inpe.br)

Program COMET:

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

ECMWF: [www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)

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

NCEP: <http://www.hpc.ncep.noaa.gov/ensembletraining/>

<b>MET-573-3</b>	<b>Sensoriamento Remoto da Atmosfera I</b>
------------------	--

**Docente Responsável:** Natália de Moraes Rudorff

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<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> ed., 2006, 504 p.

**Docente Responsável:** Julio Pablo Reyes Fernandez

Introdução; Equações governantes; Solução numérica das equações: conceitos básicos, métodos: diferenças finitas, espectral, elementos finitos, volumes finitos; Parametrizações dos processos físicos: convecção e microfísica, turbulência, radiação, nebulosidade; Modelagem dos processos na superfície e sub-superfície: continente, oceano, lagos, urbana, orográfica, gelo. Inicialização: física, dinâmica; Previsibilidade; Métodos de previsão por conjuntos; Modelagem climática e regionalização; Modelos acoplados oceano-atmosfera: desenho, uso e aplicações; métricas de avaliação: tempo e clima; Modelos operacionais.

**Bibliografia:**

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.



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
METEOROLOGIA**

---

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS ELETIVAS**

<b>MET-557-3</b>	<b>Climatologia Dinâmica</b>
------------------	------------------------------

**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 Niño, La Niña and the Southern Oscillation. Academic Press, 1990.

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

<b>MET-554-3</b>	<b>Dinâmica da Mesoescala</b>
------------------	-------------------------------

**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 semigeostrophic equations. *J. Atmos. Sci.* 32: 233-42

<b>MET- 419-3</b>	<b>Interações Biosfera-Atmosfera</b>
-------------------	--------------------------------------

**Docente Responsável:** Antonio Ocimar Manzi

Introdução: a importância da biosfera para o planeta. Componentes do Sistema Terrestre: atmosfera, oceano, criosfera, biosfera, hidrosfera. Ciclos Biogeofísicos 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/](http://www.lba.cptec.inpe.br/lba/)), incluindo os números especiais publicados no JGR, Theoretical Climatology, Ecological Applications, Remote Sensing of the Environment, Acta Amazônica.

<b>MET-563-3</b>	<b>Introdução à Assimilação de Dados</b>
------------------	--

**Docente Responsável:** Luís Gustavo Gonçalves de Gonçalves

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 Estimação e Assimilação de Dados Atmosféricos**. Disponível na Biblioteca do CPTEC/INPE.

<b>MET-551-3</b>	<b>Meteorologia Tropical</b>
------------------	------------------------------

**Docente Responsável:** José Antônio 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-extratropicos.
- 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 percentis, 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<sup>a</sup> 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.

<b>MET-335-3</b>	<b>Métodos Estatísticos em Climatologia</b>
------------------	---

**Docente Responsável:** Mary Toshie Kayano

Estatística descritiva e inferencial (posição e dispersão, quantis e box-plot; associação entre variáveis). Distribuições Teóricas de Probabilidade. Variáveis aleatórias contínuas e discretas. Estimadores (método dos momentos, método dos mínimos quadrados e da máxima verossimilhança). Intervalo de confiança. Testes de Hipótese. Correlação e Regressão. Séries temporais. Análise Espectral. Filtragem de Séries Temporais. Conceitos de análises multivariadas. Decomposição espectral, Análise de Componentes Principais, Análises de componentes principais estendidas. Análise por Decomposição em Valores Singulares, Análise Fatorial, Análise por Correlações Canônicas, Análise Discriminante Linear e Análise de Agrupamentos hierárquico e não hierárquico.

### **Bibliografia**

Chatfield C., (1984) **The Analysis of Time Series: An Introduction**. Chapman and Hall.

Panofsky H. A. & Brier G. W. (1968) **Some Applications of Statistics to Meteorology**. University Park, Pennsylvania.

Wilks D.S., (1995) **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Academic Press.

<b>MET-560-3</b>	<b>Métodos Matemáticos em Meteorologia</b>
------------------	--

**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.

<b>MET-565-3</b>	<b>Micrometeorologia e Camada Limite Planetária</b>
------------------	---

**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. Aspectos teóricos e observacionais da estrutura e crescimento da Camada Limite Interna. Aulas práticas (estação meteorológica, anemometria convencional e sônica, radiossondagem, túnel de vento do CTA).

### **Bibliografia**

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

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

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

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

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).

<b>MET-567-3</b>	<b>Modelagem Acoplada Oceano-Atmosfera</b>
------------------	--

**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 calores 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 circulações da atmosfera e do oceano. Modelos da circulação geral acoplados determinísticos. Modelos estocásticos da 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.; Holtslag, 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 Research**, 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).

<b>MET-572-3</b>	<b>Modelagem e Previsão Climática</b>
------------------	---------------------------------------

**Docente Responsável:** Caio Augusto dos Santos Coelho

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

Avaliação das seguintes características em modelos climáticos: Climatológicas de longo período, anomalias, ciclo anual, variabilidade inter-anual 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 climática 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.

<b>MET -576-4</b>	<b>Modelagem Numérica da Atmosfera</b>
-------------------	--

**Docente Responsável:** Paulo Yoshio Kubota

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

Os métodos numéricos, formulação e parametrizações utilizados nos modelos atmosféricos serão descritos em detalhe. Dinâmica: Métodos numéricos amplamente utilizados na solução numérica das equações diferenciais parciais que governam os movimentos na atmosfera serão o foco, mas também serão analisados os novos conceitos e novos métodos. Métodos de diferenças finitas, acurácia, consistência, estabilidade, convergência. Métodos espectrais, métodos de volume finito e métodos semi-lagrangeanos. Conservação de massa local, domínio de influência e domínio de dependência, dispersão numérica e dissipação, definição de filtros monótono e positivo. Esquemas explícitos versus semi-implícitos, grades de Arakawa A, B, C e E. A hierarquia de modelos será discutida, variando de modelos simples de Água Rasa até os Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA). Física: Formulação matemática e sua solução numérica das parametrizações de superfície, camada limite planetária (PBL), convecção rasa e profunda, microfísica, radiação de onda curta e longa, ondas de gravidade e fracção de nuvens. Interações PBL-convecção, aerossóis-radiação, aerossóis-nuvens e radiação-nuvens. Ferramentas para o desenvolvimento e avaliação das parametrizações físicas: SCM (Single Column Model), LES (Large Eddy Simulation) e CRM (Cloud-Resolving model). Discussão de tópicos especiais: Stochastic and scale-aware convective parameterization and unified cloud parameterization.

## **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/>

<b>MET – 336-4</b>	<b>Oceanografia Física</b>
--------------------	----------------------------

**Docente Responsável:** Luciano Ponzi Pezzi

**Pré-requisito:** MET-225-3

Aspectos introdutórios à Oceanografia Física: Fundamentos da termodinâmica da água do mar e diagramas temperatura-salinidade (TS). 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 derivadas dos movimentos termo-halinos. Fluxos turbulentos de calor, CO<sub>2</sub> e momentum na interface oceano-atmosfera. Ondas superficiais de gravidade. Revisão e discussão: Técnicas de análise dos dados oceanográficos. Os atuais instrumentos e sistemas de observações in situ. Dados derivados de satélite (TSM, ventos e altura da superfície do mar). Modelagem numérica dos oceanos e da interação do sistema acoplado oceano-atmosfera, cobrindo escalas de tempo sinótica e sazonal climática. Discussão sobre a interação entre o oceano e a atmosfera nos Oceanos Tropicais e em Altas Latitudes, que levam a flutuações climáticas sobre o globo, enfatizando o estudo das anomalias regionais sobre a América do Sul. Tópicos especiais: El Niño, Ondas de Instabilidade Tropical, 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 OceanoAtmosfera 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. 1ed.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.

Souza, R.B., 2005. Oceanografia por Satélites. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos. V. 1. 336 p.

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. Pergamon Press, London. 422 pp.

<b>MET-577-3</b>	<b>Oceanos e Criosfera no Sistema Terrestre</b>
------------------	---

**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.; Blindchardler, R.; Convey, P.; di Prisco, G.; Fahrback, 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.; Bindshadler, R.; Convey, P.; di Prisco, G.; Fahrback, 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.

<b>MET-574-3</b>	<b>Sensoriamento Remoto da Atmosfera II</b>
------------------	---

**Docente Responsável:** Nelson Jesus 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; Problemas atuais de Sensoriamento Remoto da Atmosfera: nuvens, sistemas convectivos, precipitação, inferência de perfis verticais de temperatura e umidade, assimilação de dados, queimadas, oceanografia, balanço de radiação, evapotranspiração. Modelagem da interação radiação visível, infravermelho e microondas, incluindo os efeitos de gases, vapor d'água, água líquida e gelo. Modelos de classificação de objetos (cluster análise, neural and fuzzy logic) e modelos físicos associados às propriedades radiométricas dos alvos estudados.

### **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**. 2ª 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, 2ª ed., 2006, 504 p.

<b>MET-570-3</b>	<b>Sinótica Avançada</b>
------------------	--------------------------

**Docente Responsável:** Manoel Alonso Gan

Teoria e Modelos Conceituais de frentes, frontogênese e ciclones extratropicais; Ciclogênese e frontogenese; 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 weathes forecasting – A practal guide for interpreting satellite and radar imagery. New York, Cambridge University Press, 499 p.

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

Chang E.; I. Orlanski, 1993: On the dynamics of a strom 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.

<b>MET-429-3</b>	<b>Tópicos Especiais em Modelagem Ambiental</b>
------------------	---

**Docente Responsável:** Saulo Ribeiro 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.

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

<b>EST</b>	<b>Estudo Orientado em Meteorologia</b>
------------	---

Até 4 créditos

<b>MET-730</b>	<b>Pesquisa de Mestrado em Meteorologia*</b>
----------------	--

0 créditos

<b>MET-750</b>	<b>Dissertação de Mestrado em Meteorologia</b>
----------------	--

12 créditos

<b>MET-780</b>	<b>Pesquisa de Doutorado em Meteorologia*</b>
----------------	---

0 créditos

<b>MET-800</b>	<b>Tese de Doutorado em Meteorologia</b>
----------------	--

36 créditos

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