

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM  
MECÂNICA ESPACIAL E CONTROLE**

---

---

**Coordenadora Acadêmica do Curso**

Ana Maria Ambrosio

**Coordenador Acadêmico da Área de Concentração**

Mário César Ricci

**Corpo de Docentes Permanentes**

Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado, Ph. D., Univ. of Texas, Austin, 1993.  
Evandro Marconi Rocco, Doutor, INPE, 2002.  
Marcelo Lopes de Oliveira e Souza, Ph. D., MIT, 1985.  
Mário César Ricci, Doutor, INPE, 1997.  
Renato Oliveira de Magalhães, Doutor, INPE, 2012  
Ronan Arraes Jardim Chagas, Doutor, ITA, 2012  
Valeri Vlassov Vladimirovich, Doutor, Moscow State Aviation Institute, MAI, Rússia, 1986.

**Docentes Colaboradores**

Élcio Jerônimo de Oliveira, INPE, 2011.  
Hans-Ulrich Pilchowski, Doutor, INPE, 1983.  
Hélio Koiti Kuga, Doutor, INPE, 1989.  
Ijar Milagre da Fonseca, Doutor, ITA, 1998.  
Luis Carlos Gadelha de Souza, Ph. D, Cranfield Institute Technology, 1992  
Maria Cecília Franca de Paula Santos Zanardi, Doutora, ITA, 1993.  
Othon Cabo Winter, Ph.D., London University, 1994.  
Rodolpho Vilhena de Moraes, Doutor, ITA, 1974.  
Roger Ribeiro Riehl, Doutor, EESC / USP, 2000.  
Valdemir Carrara, INPE, 1997.  
Waldemar de Castro Leite Filho, Doutor, UFRJ/COPPE, 1991.

**CURSO DE  
ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM  
MECÂNICA ESPACIAL E CONTROLE**

---

---

**RELAÇÃO DAS DISCIPLINAS SEPARADAS POR PERÍODO LETIVO**

**Adaptação**

CMC-020-0	Introdução à Mecânica Orbital
CMC-021-0	Introdução ao Estudo de Sistemas de Controle

**1º Período Letivo**

***Obrigatória para o Mestrado***

CMC-227-1	Seminário de Dinâmica Orbital I
-----------	---------------------------------

***Eletivas***

CMC-200-3	Introdução à Mecânica Celeste
CMC-201-4	Teoria de Controle
CMC-202-4	Movimento de um Sólido
CMC-218-4	Termodinâmica Aplicada em Dispositivos Aeroespaciais
CMC-221-2	Métodos da Ciência, Engenharia e Tecnologia I
CMC-325-3	Teoria de Visualização Gráfica Tridimensional I: Algoritmos Interativos
CMC-333-4	Eletromagnetismo Aplicado a Máquinas Elétricas
CMC-431-4	Transferência de Calor por Radiação para Aplicações Espaciais

**2º Período Letivo**

***Obrigatória para o Mestrado***

CMC-228-1	Seminário de Dinâmica Orbital II
-----------	----------------------------------

***Eletivas***

CMC-204-4	Otimização em Sistemas Dinâmicos I
CMC-205-4	Mecânica Analítica
CMC-225-2	Métodos da Ciência, Engenharia e Tecnologia II
CMC-303-4	Satélites Artificiais - Movimento Orbital
CMC-323-4	Convecção de Calor e Massa
CMC-324-3	Otimização Evolutiva
CMC-326-3	Teoria de Visualização Gráfica Tridimensional II: Realismo Gráfico
CMC-328-4	Sistemas de Controle Distribuídos
CMC-334-4	Método dos Elementos Finitos Aplicado à Engenharia Elétrica

### **3º Período Letivo e Seguintes**

#### **Obrigatória para o Mestrado**

CMC-229-1	Seminário de Dinâmica Orbital III
-----------	-----------------------------------

#### **Eletivas**

CMC-209-3	Controle Adaptativo I
CMC-210-4	Controle e Manipulação (E/P/S) de Dados em Tempos Virtual e Real
CMC-211-4	Modelagem e Tolerância à Falhas em Tempos Virtual e Real
CMC-212-3	Análise e Projetos de Sistemas de Controle Digitais
CMC-213-3	Modelagem de Sensores e de Atuadores em Controle de Atitude e Órbita
CMC-214-4	Satélites Artificiais: Constelações e Detritos Espaciais
CMC-215-4	Modelagem e Simulação em Tempos Virtual e Real
CMC-216-4	Modelagem e Identificação em Tempos Virtual e Real
CMC-222-4	Sistemas de Controle Embarcados
CMC-223-3	Introdução à Filtragem Adaptativa
CMC-224-4	Otimização Multiobjetivo
CMC-226-2	Métodos da Ciência, Engenharia e Tecnologia III
CMC-300-4	Mecânica Celeste I
CMC-301-3	Funções da Física Matemática
CMC-305-4	Teoria das Perturbações
CMC-306-4	Otimização em Sistemas Dinâmicos II
CMC-307-3	Aerodinâmica de Satélites
CMC-309-4	Mecânica Celeste II
CMC-310-4	Guiagem e Controle
CMC-311-2	Projeto de Sistemas de Controle Multivariáveis I
CMC-312-4	Vibração Estrutural
CMC-313-3	Otimização Estrutural
CMC-314-4	Entrada Planetária I
CMC-315-3	Estabilidade I
CMC-316-4	Satélites Artificiais-Movimento de Atitude
CMC-317-3	Controle Ótimo de Sistemas Dinâmicos: Métodos Numéricos
CMC-318-4	Simulação e Controle em Tempos Virtual e Real
CMC-319-4	Identificação e Controle em Tempos Virtual e Real
CMC-320-4	Tolerância à Falhas e Controle em Tempos Virtual Real
CMC-321-3	Dinâmica Não Linear
CMC-322-4	Robótica
CMC-327-3	Introdução à Programação Gráfica com OpenGL
CMC-335-4	Simulação de Sistemas Dinâmicos
CMC-336-4	Máquinas Elétricas de Corrente Contínua sem Escovas com Ímãs Permanentes
CMC-400-2	Tópicos Especiais em Dinâmica de Órbita e Atitude
CMC-401-2	Tópicos Especiais em Controle Não Linear
CMC-402-2	Tópicos Especiais da Teoria da Estimção
CMC-404-4	Entrada Planetária II
CMC-405-4	Estabilidade II
CMC-407-4	Teoria Geométrica das Equações Diferenciais Ordinárias I
CMC-408-4	Teoria Geométrica das Equações Diferenciais Ordinárias II
CMC-409-4	Sistemas de Controle Térmico de Veículos Espaciais
CMC-410-3	Métodos de Simulação Térmica Espacial
CMC-411-4	Órbitas Periódicas e Quase-Periódicas no Problema de Três Corpos
CMC-412-3	Tubos de Calor e Sistemas com Bombeamento Capilar
CMC-414-3	Teoria da Elasticidade e Princípios Variacionais.
CMC-415-4	Controle e Computação em Tempos Virtual e Real

CMC-422-4	Projeto de Sistemas de Controle Multivariáveis II
CMC-423-4	Dinâmica e Controle de Estruturas Flexíveis
CMC-424-4	Controle e Integração/Testes (VVA) em Tempos Virtual e Real
CMC-425-4	Transferência de Calor em Escoamentos Bifásicos
CMC-427-4	Cibernética e Inteligência Computacional em Teoria de Sistemas Dinâmicos Adaptativos e Complexos
CMC-428-3	Tecnologia de Projeto Térmico de Equipamentos Eletrônicos
CMC-429-4	Sistemas de Controle Reconfiguráveis
CMC-430-3	Planejamento e Análise de Missões Espaciais
CMC-432-4	Projeto e Aplicação de Sistemas de Controle Térmico Para Uso Terrestre e Aeroespacial

---



---

## RELAÇÃO DAS DISCIPLINAS SEPARADAS POR LINHA DE PESQUISA

### **Adaptação**

CMC-020-0	Introdução à Mecânica Orbital
CMC-021-0	Introdução ao Estudo de Sistemas de Controle

### **Seminários e Oficinas**

CMC-227-1	Seminário de Dinâmica Orbital I
CMC-228-1	Seminário de Dinâmica Orbital II
CMC-229-1	Seminário de Dinâmica Orbital III

CMC-221-2	Métodos da Ciência, Engenharia e Tecnologia I
CMC-225-2	Métodos da Ciência, Engenharia e Tecnologia II
CMC-226-2	Métodos da Ciência, Engenharia e Tecnologia III

### **Mecânica Orbital**

CMC-200-3	Introdução à Mecânica Celeste
CMC-204-4	Otimização em Sistemas Dinâmicos I
CMC-214-4	Satélites Artificiais: Constelações e Detritos Espaciais
CMC-300-4	Mecânica Celeste I
CMC-303-4	Satélites Artificiais-Movimento Orbital
CMC-305-4	Teoria das Perturbações
CMC-306-4	Otimização em Sistemas Dinâmicos II
CMC-307-3	Aerodinâmica de Satélites
CMC-309-4	Mecânica Celeste II
CMC-314-4	Entrada Planetária I
CMC-400-2	Tópicos Especiais em Dinâmica de Órbita e Atitude
CMC-402-2	Tópicos Especiais da Teoria da Estimação
CMC-404-4	Entrada Planetária II
CMC-411-4	Orbitas Periódicas e Quase-periódicas no Problema de Três Corpos

### **Dinâmica de Satélites**

CMC-202-4	Movimento de um Sólido
CMC-205-4	Mecânica Analítica
CMC-301-3	Funções da Física Matemática
CMC-315-3	Estabilidade I
CMC-316-4	Satélites Artificiais - Movimento de Atitude
CMC-322-4	Robótica

CMC-335-4	Simulação de Sistemas Dinâmicos
CMC-405-4	Estabilidade II
CMC-407-4	Teoria Geométrica das Equações Diferenciais Ordinárias I
CMC-408-4	Teoria Geométrica das Equações Diferenciais Ordinárias II
CMC-423-4	Dinâmica e Controle de Estruturas Flexíveis
CMC-430-3	Planejamento e Análise de Missões Espaciais

### **Controle de Atitude**

CMC-201-4	Teoria de Controle
CMC-209-3	Controle Adaptativo I
CMC-212-3	Análise e Projetos de Sistemas de Controle Digitais
CMC-213-3	Modelagem de Sensores e de Atuadores em Controle de Atitude e Órbita
CMC-223-3	Introdução à Filtragem Adaptativa
CMC-310-4	Guiagem e Controle
CMC-311-2	Projeto de Sistemas de Controle Multivariáveis I
CMC-317-3	Controle Ótimo de Sistemas Dinâmicos: Métodos Numéricos
CMC-321-3	Dinâmica Não Linear
CMC-401-2	Tópicos Especiais em Controle Não Linear
CMC-422-4	Projeto de Sistemas de Controle Multivariáveis II

### **Mecanismos Espaciais**

CMC-333-4	Eletromagnetismo Aplicado a Máquinas Elétricas
CMC-334-4	Método dos Elementos Finitos Aplicado à Engenharia Elétrica
CMC-336-4	Máquinas Elétricas de Corrente Contínua sem Escovas com Ímãs Permanentes

### **Controle em Tempo Real**

CMC-210-4	Controle e Manipulação (E/P/S) de Dados em Tempos Virtual e Real
CMC-211-4	Modelagem e Tolerância à Falhas em Tempos Virtual e Real
CMC-215-4	Modelagem e Simulação em Tempos Virtual e Real
CMC-216-4	Modelagem e Identificação em Tempos Virtual e Real
CMC-222-4	Sistemas de Controle Embarcados
CMC-224-4	Otimização Multiobjetivo
CMC-318-4	Simulação e Controle em Tempos Virtual e Real
CMC-319-4	Identificação e Controle em Tempos Virtual e Real
CMC-320-4	Tolerância à Falhas e Controle em Tempos Virtual Real
CMC-328-4	Sistemas de Controle Distribuídos
CMC-415-4	Controle e Computação em Tempos Virtual e Real
CMC-424-4	Controle e Integração/Testes (VVA) em Tempos Virtual e Real
CMC-429-4	Sistemas de Controle Reconfiguráveis

### **Controle Térmico**

CMC-218-4	Termodinâmica Aplicada em Dispositivos Aeroespaciais
CMC-323-4	Convecção de Calor e Massa
CMC-409-4	Sistemas de Controle Térmico de Veículos Espaciais
CMC-410-3	Métodos de Simulação Térmica Espacial
CMC-412-3	Tubos de Calor e Sistemas com Bombeamento Capilar
CMC-425-4	Transferência de Calor em Escoamentos Bifásicos
CMC-428-3	Tecnologia de Projeto Térmico de Equipamentos Eletrônicos.
CMC-431-4	Transferência de Calor por Radiação para Aplicações Espaciais
CMC-432-4	Projeto e Aplicação de Sistemas de Controle Térmico Para Uso Terrestre e Aeroespacial

### **Vibração e Controle Estrutural**

CMC-312-4	Vibração Estrutural
CMC-313-3	Otimização Estrutural
CMC-414-3	Teoria da Elasticidade e Princípios Variacionais

### **Visualização Gráfica Aeroespacial**

CMC-325-3	Teoria de Visualização Gráfica Tridimensional I: Algoritmos Interativos
CMC-326-3	Teoria de Visualização Gráfica Tridimensional II: Realismo Gráfico
CMC-327-3	Introdução à Programação Gráfica com OpenGL

### **Métodos de Otimização**

CMC-324-3	Otimização Evolutiva
CMC-427-4	Cibernética e Inteligência Computacional em Teoria de Sistemas Dinâmicos Adaptativos e Complexos

---

---

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM  
MECÂNICA ESPACIAL E CONTROLE**

**PERÍODO DE ADAPTAÇÃO**

<b>CMC-020-0</b>	<b>Introdução à Mecânica Orbital</b>
------------------	--------------------------------------

**Obrigatória**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 60 horas

Introdução. Campo central. Leis de Newton. Lei da gravitação universal. Força central. Integral do momento angular. Velocidade areolar. Trajetórias do movimento. Integral da energia. Equação de Binet. Leis de Kepler. Propriedades da elipse. Problema dos dois corpos. Redução do problema dos dois corpos. Solução do problema dos dois corpos. Movimento elíptico. Coordenadas cartesianas do movimento plano. Posicionamento de satélites. Elementos keplerianos. Transformação de coordenadas. Obtenção do vetor de estado. Problema inverso. Sistemas de coordenadas. Coordenadas horizontais, coordenadas horárias, coordenadas equatoriais. Sistema topocêntrico, coordenadas geodésicas. Sistemas de tempo. Introdução à determinação de órbitas. Potencial gravitacional da Terra.

**Bibliografia**

BATE, R.R.; MUELLER, D.D.; WHITE, J.E. Fundamentals of Astrodynamics. New York, NY, Dover, 1971.  
PILCHOWSKI, H.U.; SILVA, W.C.C.; FERREIRA, L.D.D. Introdução à Mecânica Celeste. São José dos Campos, INPE, junho, 1981. (INPE-2126-RPE/350).

<b>CMC-021-0</b>	<b>Introdução ao Estudo de Sistemas de Controle</b>
------------------	---

**Obrigatória**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 60 horas

Introdução. Revisão de transformada de Laplace. Modelos matemáticos de sistemas físicos: funções de transferência, diagramas de blocos, obtenção de funções de transferência de sistemas físicos. Análise da resposta no tempo: resposta impulsiva, sistemas de primeira ordem, sistema de segunda ordem, sistemas de ordem superior, critério de estabilidade de Routh, computadores analógicos. Noções de lugar geométrico das raízes. Métodos de resposta em frequência: gráficos logarítmicos, diagramas de Bode. Introdução ao controle moderno: variáveis de estado, matriz de transição, etc.

**Bibliografia**

OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. Rio de Janeiro, RJ, Prentice-Hall do Brasil, 1985.  
D'AZZO, J.J.; HOUPIS, C.H. Análise e Projeto de Sistemas de Controle Lineares. Rio de Janeiro, RJ, Guanabara Dois, 1984.  
KUO, B.C. Sistemas de Controle Automático. Rio de Janeiro, RJ, Prentice-Hall do Brasil, 1985.  
MELSA, J.L.; JONES, C. Computer Programs of Computational Assistance in the Study of Linear Control Theory. 2ed. New York, NY, McGraw-Hill Book Co., 1979.

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
EM MECÂNICA ESPACIAL E CONTROLE**

**1º PERÍODO LETIVO**

<b>CMC-227-1</b>	<b>Seminário de Dinâmica Orbital I</b>
------------------	--

**Obrigatória**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 30 horas

O seminário será dedicado ao estudo aplicado de tópicos básicos em Astronomia e Mecânica Celeste.

**Bibliografia**

Artigos de revistas especializadas nos temas tratados.

<b>CMC-200-3</b>	<b>Introdução à Mecânica Celeste</b>
------------------	--------------------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Hélio Koiti Kuga

Leis de Newton. Conceito de campo central. Propriedades do campo de força central. Equações de movimento em campo central. Lei de áreas. Equação de Binet. Leis de Kepler. Lei da gravitação universal. Movimento no campo gravitacional. Classificação de órbitas. Manobras orbitais básicas. Transferência de Hohmann. Movimento elíptico. Problema de dois corpos. Problema reduzido de 3 corpos. Sistemas de coordenadas. Variação de coordenadas celestes. Precissão luni-solar. Mutações. Movimento do polo. Sistemas cartesianos terrestres. Sistemas cartesianos celestes. Transformações no plano e no espaço. Sistemas de tempo. Tempo universal. Tempo sideral. Data juliana. Determinação de órbita a partir de 3 vetores posição. Método de Gibbs. Método de Herrick-Gibbs. Métodos de Gauss. Unidades canônicas. Refinamento da órbita preliminar pela correção diferencial. Equações de Lagrange e de Delaunay.

**Bibliografia**

SPIEGEL, M. R. Theoretical Mechanics, 1967.

McCUSKY. Introduction to Celestial Mechanics, 1963.

GOLDSTEIN, H. Classical Mechanics. NY, NY, Addison-Wesley, 1978.

GEYLING, F. T.; WESTERMAN, H. R. Introduction to Orbital Mechanics, 1971.

PILCHOWSKI, H.; SILVA, W. C. C.; FERREIRA, L. D. D. Introdução à Mecânica Celeste. (INPE-2126-RPE/350).

BATE, R. R.; MUELLER, D. D.; WHITE, J. E. Fundamentals of Astrodynamics. New York, NY, Dover, 1971.

WYLIE, C. R. Advanced Engineering Mathematics, 1975.

KUGA, H. K.; KONDAPALLI, R. R. Introdução à Mecânica Orbital. (INPE-5615-PUD/064).



<b>CMC-201-4</b>	<b>Teoria de Controle</b>
------------------	---------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Introdução. Representação de sistemas na forma de variáveis de estado. Solução da equação diferencial de estado de sistemas lineares. Estabilidade. Análise à transformada de sistemas invariantes no tempo. Controlabilidade. Reconstrutibilidade. Dualidade de sistemas lineares. Formas canônicas. Processos estocásticos vetoriais. Resposta de sistemas lineares a ruído branco.

**Bibliografia**

KWAKERNAAK, H. Linear Optimal Control Systems. New York, NY, Wiley Interscience, 1972.

CHEN, C. T. Introduction to Linear System Theory. New York, NY, Holt, Rinehart and Winston, In., 1970.

<b>CMC-202-4</b>	<b>Movimento de um Sólido</b>
------------------	-------------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Valdemir Carrara

Introdução: velocidade e aceleração; movimento plano; caso geral de movimento no espaço; movimento relativo à Terra em rotação; transformação de deslocamento e velocidade; transformação de velocidades angulares. Dinâmica da partícula; força, impulso e quantidade de movimento; trabalho e energia; momento angular. Dinâmica de sólido: deslocamento de um corpo rígido, momento angular de um sólido, energia cinética de um sólido; momento de inércia; eixos principais; ângulos de Euler; equações de Euler; sólido de revolução sem momento externo; sólido assimétrico sem momento externo; movimento geral de um sólido. Movimento de veículos espaciais: equação geral em coordenadas no sólido; sólido quase-simétrico sem momento externo; desaceleração rotacional de satélites; perda de posicionamento por dissipação de energia; massa variável; movimento geral de sólidos em rotação com variações de massa; movimento de sólidos com apêndices flexíveis.

**Bibliografia**

GREENWOOD, D.T. Principles of Dynamics. Englewood Cliffs, NY, Prentice Hall, 1965.

GRANDALL, S.H.; KARNOPP, D.C.; KURTZ JR.; E.F.; PRIDMORE BROWN, P.C. Dynamics of Mechanical and Electromechanical Systems. New York, NY, McGraw-Hill, 1968.

GOLDSTEIN, H. Classical Mechanics. NY, NY, Addison-Wesley, 1980.

<b>CMC-218-4</b>	<b>Termodinâmica Aplicada em Dispositivos Aeroespaciais</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Roger Ribeiro Riehl

Tópicos a serem abordados: Introdução a Termodinâmica; Conceitos Básicos e Definições; Propriedade de uma Substância Pura; Primeira Lei da Termodinâmica Aplicada a Sistemas Terrestres e Espaciais; Análise de Energia em Sistemas Fechado e Aberto; Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia Aplicada a Sistemas Terrestres e Espaciais; Combinação da 1ª e 2ª Lei; Destruição da Energia; Sistemas de Geração de Potência e Energia; Sistemas de Controle Térmico de Satélites e Veículos Espaciais; Células Combustíveis; Introdução a Termodinâmica Estatística.

### **Bibliografia:**

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons.  
BEJAN, A. Advanced Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons.  
TESTER, J. W.; MODELL, M. Thermodynamics and Its Applications. Prentice Hall PTR.  
Callen, H. B. Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics. John Wiley & Sons.  
KARAM, R. Satellites Thermal Control for System Engineers. AIAA. 1998

<b>CMC-221-2</b>	<b>Métodos da Ciência, Engenharia e Tecnologia I</b>
------------------	--

### **Eletiva**

**Pré-requisito:** Cursos de Graduação em Engenharias e Áreas Afins; Domínio de Lógica, Português e Inglês Técnicos.

**Carga horária:** 30 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

1) Métodos de Pesquisa: Origens/Antecedentes/Breve História. 2) Métodos de Pesquisa: A Prática da Ciência/Atualidade/Tendências. 3) Métodos de Pesquisa: Observação/Descrição/Nominação/Classificação. 4) Métodos de Pesquisa: Experimentação/Testes/Modelagem/Simulação/Verificação/Validação. 5) Métodos de Pesquisa: Proposição e Validação de Teorias/Dedução/Modelagem/Extrapolação/Racionalismo. 6) Métodos de Pesquisa: Comparação/Contraste/Assimilação. 7) Dados: Análise & Interpretação/Indução/Identificação/Interpolação/Empiricismo. 8) Dados: Estatística/Descrição/Redução/Armazenamento/Reduccionismo. 9) Dados: Uso de Gráficos e Dados Visuais/Extração de Informações/Sistematização de Informações/Abrangência. 10) Dados: Incerteza, Erro, e Confiança/Certeza/Dúvida/Ceticismo. 11) Comunicação Científica: Entendendo Revistas e Artigos Científicos/Divulgação. 12) Comunicação Científica: Revisão por Pares/Compromisso/Ética.

### **Bibliografia**

CARPI, A.; EGGER, A. The Scientific Method. 2008. Disponível em: <http://www.visionlearning.com/en/library/General-Science/3/The-Scientific-Method/45> . Acessado em 22-01-2014.  
CHANG, M. Principles of Scientific Methods. Chapman and Hall/CRC, NY, NY, 2014.  
HUNG, E. Philosophy of Science Complete: A Text on Traditional Problems and Schools of Thought. Wadsworth CENGAGE Learning; 2<sup>nd</sup>. ed., Boston, MA, 2013.  
CHANG, M. Paradoxes in Scientific Inference. Chapman and Hall/CRC, New York, NY, 2012.  
KUHN, T. The Structure of Scientific Revolutions, 4<sup>th</sup>. ed. University of Chicago Press, Chicago, IL, 2012.  
GAUCH JR, H. G. Scientific Method in Brief. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 2012.  
MCCLELLAN, J. E., DORN, H. Science and Technology in World History: An Introduction, 2<sup>nd</sup>. ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 2006.  
BEVERIDGE, W. B. The Art of Scientific Investigation. Blackburn Press, 2004.

GAUCH JR, H. G. Scientific Method in Practice. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 2002.

LOSEE, J. A. A Historical Introduction to the Philosophy of Science. 4<sup>th</sup> ed. Oxford University Press, Oxford, UK, 2001.

\*\*\*\*\*

RUBENS, P. Science and Technical Writing: A Manual of Style, 2<sup>nd</sup>. ed. Routledge, Amsterdã, NE, 2000.

BOLLES, E. B. (Editor). Galileo's Commandment: 2,500 Years of Great Science Writing. Holt Paperbacks, New York, NY, 1999.

STRUNK JR. W., WHITE, E. B. The Elements of Style, 4<sup>th</sup>. ed. Longman, London, UK, 1999.

\*\*\*\*\*

BARROS FILHO, C.; POMPEU, J. A Filosofia Explica as Grandes Questões da Humanidade. Editora Casa da Palavra, São Paulo, SP, 2013.

HEGENBERG, L. Saber De e Saber Que: Alicerces da Racionalidade. Editora Vozes, Petrópolis, RJ, 2001.

SEVERINO, A. J. Metodologia do Trabalho Científico, 20<sup>a</sup>. ed., Cortez Editora, 1996.

RUIZ, J.A. Metodologia Científica. Editora Atlas, São Paulo, SP, 1982.

VERA, A. A. Metodologia da Pesquisa Científica. Editora Globo, Porto Alegre, RS, 1978.

POPPER, K. R. A Lógica da Pesquisa Científica, 3<sup>a</sup>. ed. Editora Cultrix, São Paulo, SP, 1972.

WEATHERALL, M. Método Científico. EDUSP/Editora Polígono, São Paulo, SP, 1970.

LAKATOS, E.V.; MARCONI, M. A. Fundamentos de Metodologia Científica. 4<sup>a</sup> ed. rev. e ampl. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2001.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E. M. Metodologia de Trabalho Científico, 6<sup>a</sup> ed. rev. e ampl. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2001.

ANDRADE, M. M. Como preparar trabalhos para cursos de Pós-Graduação. Noções e Práticas. 4<sup>a</sup> ed. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2001.

CMC-325-3	<b>Teoria de Visualização Gráfica Tridimensional I: Algoritmos Interativos</b>
-----------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Valdemir Carrara

Ementa: Introdução: aplicações da computação gráfica, visualização de dados, visualização tridimensional, técnicas de interatividade. Dispositivos gráficos de entrada e saída 3D: monitor, scanner e impressora. Modelagem de objetos gráficos: tabelas de polígonos, malhas poligonais, coerência, triangularização, método de varredura de cubos. Superfícies paramétricas, nurbs, nurms, tesselação, objetos fractais. Transformações gráficas 3D em objetos poligonais, funções de transformação. Projeções de visualização gráfica. Modelos matemáticos para a interação entre a luz e as superfícies: o processo de iluminação, a equação da reflexão. Os modelos computacionais: Phong, Owen e Nayar, Blinn, Cook e Torrance, modelo anisotrópico de Ward. Fontes de luz: pontuais, distribuídas, spot. Texturas bidimensionais: projeções e método de projeção em superfície intermediária. Mapeamento cúbico e mapeamento de ambiente. Métodos de perturbação da normal: mapeamento de corcovas e textura em relevo. O pipe-line gráfico. Métodos de síntese de imagens: remoção de superfícies não visíveis, recorte volumétrico e remoção de superfícies encobertas. O algoritmo de linha de varredura e o z-buffer.

**Bibliografia**

WATT, A. 3D Computer Graphics. Harlow, England. Addison-Wesley, 1997.

HEARN, D.; BAKER, M. P. Computer Graphics - C version. Prentice Hall, 1997.  
FOLEY, J. D.; VAN DAM, A.; FEINER, S. K.; HUGHES, J. F. Computer Graphics, Principles and Practice. Reading, Ma. Addison-Wesley, 1997.  
ANGEL, E. Interactive Computer Graphics – A Top down Approach with OpenGL. Reading, Ma, Addison-Wesley, 2000.

<b>CMC-333-4</b>	<b>Eletromagnetismo Aplicado a Máquinas Elétricas</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Mario Cesar Ricci

Campo magnetostático de correntes elétricas estacionárias: Lei de Biot-Savart. Fluxo magnético e densidade de fluxo magnético. Campo magnético gerado por condutores finos, retos, finitos e infinitos; placa plana finita condutora; bloco maciço condutor e condutor maciço de geometria arbitrária e seção retangular. Campo num solenóide. Lei de Ampère. Potencial magnetostático e força magnetomotriz. Energia num indutor. Vetor potencial: vetor potencial para vários tipos de condutores. Campo magnetostático de materiais ferromagnéticos: ímãs e polos magnéticos. Materiais magnéticos. Permeabilidade. Dipolos magnéticos e magnetização. Solenóide equivalente a um material magnetizável. Vetores magnéticos B, H e M. Condições de fronteira. Ferro-magnetismo. Curvas de magnetização. Histerese. Energia de um ímã. Ímãs Permanentes. Desmagnetização. Circuito magnético: relutância e permeância. Circuito sem entreferro. Circuito com entreferro. Força no entreferro. Ímã Permanente com entreferro.

**Bibliografia**

POLLACK, G.; STUMP, D. Electromagnetism. Addison Wesley, 1st edition, 2001.  
PANOFKY, W. K. H.; PHILLIPS, M. Classical Electricity and Magnetism. Dover Publications, 2nd edition, 2005.  
GRANT, I. S.; PHILLIPS, W. R. Electromagnetism. Wiley; 2nd edition, 1991.  
GIERAS, J. F.; WING, M. Permanent Magnet Motor Technology Revised (Electrical and Computer Engineering). CRC Press, 2nd edition, 2002. HANSELMAN, D. C. Brushless Permanent Magnet Motor Design. Magna Physics Pub, 2006.

<b>CMC-431-4</b>	<b>Transferência de Calor por Radiação para Aplicações Espaciais</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisitos:** não há

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Valeri Vlassov Vladimirovich

Introdução e áreas de aplicação. Fundamentos de transferência de calor por radiação: corpo negro, distribuição espectral da potência emissiva, radiações no espectro infravermelho e solar, propriedades ópticas de superfícies, emissividade, absorvidade, refletividade e transmissividade, superfícies difusas, especulares, cinzas, opacas e transparentes, propriedades de superfícies reais, dependência das propriedades com o ângulo. Transferência de calor por radiação em meios participantes: Coeficientes de absorção e espalhamento, equação de transferência radiativa, métodos de solução aproximada. Transferência de calor entre superfícies difusas e cinzas: Lei de Kirchhoff, fatores de forma, trocas de calor em compartimento com múltiplas superfícies, fatores de Gebhart, balanço de energia por meio da radiosidade. Métodos numéricos: Monte Carlo e progressivo. Análise térmica de satélites artificiais. Revestimentos térmicos e suas propriedades ópticas. Mantas MLI (Multilayer Insulation): propriedades teóricas e reais, parâmetros e

composição de diferentes mantas, simulação numérica, testes de caracterização de manta MLI. Transferência de calor em OSR (Optical Solar Reflector), células solares e lentes de câmeras e sistemas ópticos. Radiadores: planos, aletados, criogênicos, multiestágios, de emissividade variável. Antenas, baffles e elementos externos ao satélite. Venezianas térmicas. Troca de calor com a pluma de propulsores. Técnicas de simulação de ambiente espacial: câmaras vácuo-térmicas, placas aquecedoras, IRAs (*Infrared Array*), simulação solar, sensores de radiação. Testes de balanço e ciclagem térmicas em satélites. Introdução ao software Thermal Desktop/Sinda/RadCAD: parâmetros de controle para cálculos de radiação, exemplos de modelo térmico. Radiações em órbita terrestre: parâmetros de órbita e atitude, partes articuladas. Análise térmica de satélite em órbita utilizando o software Sinda.

### **Bibliografia**

- INCROPERA, F.P., DE WITT, D.P., BERGMAN, T.L., LAVINE, A.S. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- BOHN, M. S., KREITH, F. Princípios da Transmissão de Calor. Editora Thomson, 2003.
- GILMORE D.G. Satellite Thermal Control Handbook. The Aerospace Corporation Press, El Segundo, California, eds. 1994 e 2002.
- SOUSA, F.L., MURAOKA, I., VLASSOV, V.V. Ciclo de Palestras Sobre Controle Térmico de Satélites - Apresentações (em CDROM). INPE-11246-PUD/138, 2004.
- C&R Technologies. Thermal Desktop: A CAD Based System for Thermal Analysis and Design. User's Manual, Versions since 4.8. Veja <http://www.crtech.com>.
- MODEST, M.F., Radiative Heat Transfer. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1993.
- SIEGEL, R. AND HOWELL, J.R. Thermal Radiation Heat Transfer. CRC Press, 5<sup>th</sup>. ed., New York, NY, 2010.

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM  
MECÂNICA ESPACIAL E CONTROLE**

**2º PERÍODO LETIVO**

<b>CMC-228-1</b>	<b>Seminário de Dinâmica Orbital II</b>
------------------	---

***Obrigatória***

***Pré-requisito:*** CMC-203-0 ou equivalente

***Carga horária:*** 30 horas

O seminário será dedicado ao estudo de métodos numéricos de utilização mais frequente na área de Mecânica Orbital e Controle.

***Bibliografia***

Artigos de revistas especializadas nos temas tratados.

<b>CMC-204-4</b>	<b>Otimização em Sistemas Dinâmicos I</b>
------------------	---

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-201-4 ou equivalente

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Evandro Marconi Rocco

Variáveis de estado e de controle: controle ótimo de sistemas dinâmicos; exemplos. Teoria de máximos e mínimos de funções: revisão e aplicação a problemas de otimização de parâmetros. Introdução ao Cálculo Variacional: elementos necessários; aplicações a sistemas dinâmicos. Formulação do problema de controle; equações de Euler - Lagrange; condições de transversalidade; condições de Weierstrass e de Legendre-Clebsch versus princípio de máximo de Pontryagin; aplicações. Tratamento de vínculos de desigualdade: vínculos nas variáveis de estado: aplicações. Introdução a técnica numéricas de solução: métodos de gradientes; método de perturbação; aplicações.

***Bibliografia***

BRYSON JR., A. E.; CHI HO, Y. Applied Optimal Control. Waltham, MA, Ginn, 1969.

CITRON, S.J. Elements of Optimal Control. New York, NY, Holt, Rinehart and Winston, 1969.

ISERMANN, R. Digital Control Systems. Berlim, Springer-Verlag, 1981.

KIRK, D.E. Optimal Control Theory: an Introduction. Englewood Cliffs, NY, Prentice-Hall, 1970.

TAKAHASHI, Y.; RABINS, M.J.; AUSLANDER, D.M. Control and Dynamic Systems. Reading, MA, Addison-Wesley, 1970.

<b>CMC-205-4</b>	<b>Mecânica Analítica</b>
------------------	---------------------------

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** não há

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Ijar Milagre da Fonseca

Cinemática dos sólidos. Dinâmica do ponto vinculado. Teoremas gerais de Mecânica. Dinâmica dos sólidos. Dinâmica em coordenadas generalizadas.

Formalismo canônico. Teoria de Hamilton e Jacobi. Separabilidade. Princípios variacionais. Pequenos movimentos. Valores próprios. Estabilidade segundo Liapunov. Soluções periódicas. Teoria de Floquet-Liapunov. Aspectos topológicos no plano de fase.

### **Bibliografia**

GOLDSTEIN, H. Classical Mechanics. 2nd ed. Reading, MA, Addison-Wesley, 1980.  
KAPLAN, M. H. Modern Spacecraft Dynamics and Control. New York, NY, John Wiley, 1976.  
MEIROVITCH, L. Methods of Analytical Dynamics. New York, NY, McGraw-Hill, 1970.

<b>CMC-225-2</b>	<b>Métodos da Ciência, Engenharia e Tecnologia II</b>
------------------	---

### **Eletiva**

**Pré-requisito:** Cursos de Graduação em Engenharias e Áreas Afins; Domínio de Lógica, Português e Inglês Técnicos.

**Carga horária:** 30 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

1) Métodos de Desenvolvimento: Origens/Antecedentes/Breve História. 2) Métodos de Desenvolvimento: A Prática da Engenharia/Atualidade /Tendências. 3) Métodos de Desenvolvimento: Observação/Descrição/ Nominação/Classificação. 4) Métodos de Desenvolvimento: Experimentação/Testes/Modelagem/Simulação/Verificação/Validação. 5) Métodos de Desenvolvimento: Proposição e Validação de Projetos/Dedução/Modelagem/ Extrapolação/Racionalismo. 6) Métodos de Desenvolvimento: Comparação/Contraste/Assimilação. 7) Dados: Análise & Interpretação/Indução/Identificação/Interpolação/ Empiricismo. 8) Dados: Estatística/Descrição/Redução/Armazenamento/ Reducionismo. 9) Dados: Uso de Gráficos e Dados Visuais/Extração de Informações/ Sistematização de Informações/Abrangência. 10) Dados: Incerteza, Erro, e Confiança/Certeza/Dúvida/Ceticismo. 11) Comunicação de Engenharia: Entendendo Revistas e Artigos de Engenharia/Divulgação. 12) Comunicação de Engenharia: Revisão por Pares/Compromisso/Ética.

### **Bibliografia**

UNIVERSITY. OF CINCINNATI. Scientific Method v. Engineering Design Process. Disponível em: <http://research.uc.edu/sciencefair/resources-forms/topic-suggestions/scientific-method-v-engineering-design-procedures.aspx> . Acessado em 22-01-2014.

GUY, K. (Editor). Philosophy of Engineering, Vol.2. The Royal Academy of Engineering, London, UK, 2011.

GUY, K. (Editor). Philosophy of Engineering, Vol.1. The Royal Academy of Engineering, London, UK, 2010.

KOEN, B. V. Discussion of the Method: Conducting the Engineer's Approach to Problem Solving. Oxford University Press, New York, NY, USA, 2003.

BUCCIARELLI, L. L. Engineering Philosophy. Delft Univ. Press, Delft, NE, 2003.

KING, W. J.; SKAKOON, J. G. Unwritten Laws of Engineering: Revised and Updated Edition. American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, 2001.

BUCCIARELLI, L. L. Designing Engineers (Inside Technology). The MIT Press, Cambridge, MA, 1996.

FLORMAN, S. C. The Existential Pleasures of Engineering (Thomas Dunne Book). St. Martin's Griffin; 2<sup>nd</sup>. ed., New York, NY, 1996.

FERGUSON, E. S. Engineering and the Mind's Eye. The MIT Press, Cambridge, MA, 1994.

VINCENTI, W. G. What Engineers Know and How They Know It. Analytical Studies from Aeronautical History. Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, MD, 1993.

KOEN, B. V. Definition of the Engineering Method. American Society for Engineering Education, Washington, DC, 1985.

\*\*\*\*\*

RUBENS, P. Science and Technical Writing: A Manual of Style, 2<sup>nd</sup>. ed. Routledge, Amsterdã, NE, 2000.

BOLLES, E. B. (Editor). Galileo's Commandment: 2,500 Years of Great Science Writing. Holt Paperbacks, New York, NY, 1999.

STRUNK JR. W., WHITE, E. B. The Elements of Style, 4<sup>th</sup>. ed. Longman, London, UK, 1999.

LAKATOS, E.V.; MARCONI, M. A. Fundamentos de Metodologia Científica. 4<sup>a</sup> ed. rev. e ampl. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2001.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E. M. Metodologia de Trabalho Científico, 6<sup>a</sup> ed. rev. e ampl. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2001.

ANDRADE, M. M. Como preparar trabalhos para cursos de Pós-Graduação. Noções e Práticas. 4<sup>a</sup> ed. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2001.

<b>CMC-303-4</b>	<b>Satélites Artificiais - Movimento Orbital</b>
------------------	--

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-200-3 ou equivalente

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Valdemir Carrara

Campo gravitacional terrestre. Expressão para geopotencial. Representação dos harmônicos esféricos. Fórmulas numéricas para cálculo do geopotencial. Forças perturbadoras. Força gravitacional devido ao potencial do corpo. Atração gravitacional do Sol e da Lua. Força de arrasto. Forças de marés devidas à Lua e ao Sol. Força de pressão de radiação. Albedo. Métodos analíticos de perturbação. Métodos de Brouwer. Método de von Zeipel. Métodos numéricos de perturbação. Integração das equações de movimento. Transformações de tempo. Modelo unificado de estados. Métodos semi-analíticos de perturbação. Métodos de solução. Método de médias.

**Bibliografia**

HEISKANEN, W. A.; MORITZ, H. Physical Geodesy. 1967.

SILVA, W. C. C.; FERREIRA, L. D. D. Satélite Artificial - Movimento Orbital. (INPE-3163-RPE/458).

KONDAPALLI, R. R. Um estudo dos métodos de perturbação na determinação de órbitas de satélites artificiais de baixa altitude. (INPE-3781-RPI/ISI).

KUGA, H. K. Métodos numéricos em propagação de órbita de satélites artificiais terrestres. (INPE-4405-RPE/556).

BROUWER, D.; CLEMENCE, G. M. Methods of Celestial Mechanics. NY., Academic, 1961.

BATE, R. R.; MUELLER, D. D.; WHITE, J. G. Fundamentals of Astrodynamics. NY, Dover, 1971.

<b>CMC-323-4</b>	<b>Convecção de Calor e Massa</b>
------------------	-----------------------------------

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** não há

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Roger Ribeiro Riehl

Tópicos a serem abordados: Introdução e Princípios Fundamentais; Equações de Continuidade, Movimento e Energia; Formulação Diferencial; Formulação Integral; Soluções Unidimensionais – Escoamentos de Couette, Poiseuille, etc; Camada



Limite Laminar; Escoamento Laminar em Dutos; Convecção Natural Interna e Externa; Camada Limite Turbulenta; Escoamento Turbulento em Dutos.

**Bibliografia:**

BEJAN, A. Convection Heat Transfer. John Wiley & Sons.

BURMEISTER, L. C. Convective Heat Transfer. John Wiley & Sons.

KAYS, W. M.; CRAWFORD, M. E. Convective Heat and Mass Transfer. McGraw-Hill.

<b>CMC-324-3</b>	<b>Otimização Evolutiva</b>
------------------	-----------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Fabiano Luis de Sousa

Conceitos Básicos: Evolução, Genética e Otimização; Introdução aos Algoritmos Evolutivos; Estratégias Evolutivas; Programação Evolutiva; Algoritmos Genéticos; Programação Genética; Lidando com Restrições; Controle de parâmetros; Hibridização: Algoritmos Meméticos; Problemas Multi-objetivos; Distribuição Espacial/ Paralelização; Formas Especiais de Evolução/Co-evolução; Algoritmos Evolutivos em problemas dinâmicos; Teoria; Avaliando Algoritmos Evolutivos; Novos Métodos em Otimização Evolutiva; Aplicações de Algoritmos Evolutivos em Ciência e Engenharia.

**Bibliografia**

EIBEN, A. E. E SMITH, J. E. Introduction to Evolutionary Computing, Springer, 2003

DAVID DAVIS, L.; DE JONG, K.; VOSE, M. D.; WHITLEY, L. D. Evolutionary Algorithms, The IMA Volumes in Mathematics and Its Applications, Vol. 111, Springer, 1999.

GOLDBERG, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989.

MAN, K. F.; TANG, K. S.; KWONG, S. Genetic Algorithms: Concepts and Designs, Springer, 1999.

MICHALEWICZ, Z. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Third Edition, Springer, 1999.

MITCHELL, M. An Introduction to Genetic Algorithms. MIT Press, Second Printing, 1996.

Artigos de revistas especializadas nos temas tratados.

<b>CMC-326-3</b>	<b>Teoria de Visualização Gráfica Tridimensional II: Realismo Gráfico</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-325-3 ou equivalente

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Valdemir Carrara

Objetos algébricos: fechados, abertos, superfícies de varredura e rotação. Superfícies equipotenciais, blobby, hipertexturas. Modelos de reflexão especular e refração. Texturas procedurais e ruído de Perlin. Perturbação da normal com ruído. O método de ray-tracing: recursividade e algoritmo. A composição da matização do pixel. Modelo de iluminação local. Métodos de anti-pseudonímia. Reflexo borrado. Algoritmos de interseção (raízes). A composição algébrica de objetos CSG. A normal e o gradiente. Métodos de iluminação global. Luz ambiente direcional. Realismo com HDRI. Radiosidade: intensidade de irradiação e fator de forma. Projeção do semi-cubo para fatores de forma. A radiosidade no método poligonal e no ray-

tracing. O método de Monte-Carlo. Fótons. Movimentação e animação. Introdução ao Pov.

### **Bibliografia**

WELLS, D.; YOUNG, C.; FARMER, D. Criações em Ray Tracing. São Paulo, Berkeley, 1995.  
WATT, A. 3D Computer Graphics. Harlow, England. Addison-Wesley, 1997  
HEARN, D.; BAKER, M. P. Computer Graphics - C version. Prentice Hall, 1997.  
FOLEY, J. D.; VAN DAM, A.; FEINER, S. K.; HUGHES, J. F. Computer Graphics, Principles and Practice. Reading, Ma. Addison-Wesley, 1997.

<b>CMC-328-4</b>	<b>Sistemas de Controle Distribuídos</b>
------------------	--

#### **Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-212-3 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

1) Introdução: o ambiente de tempo real. Sistemas de controle em tempo real concentrados ou distribuídos via redes de comunicação. Compromissos de uma solução concentrada x distribuída. 2) Noções de tempo: natural, global, local, etc. Determinismo, sincronismo, causalidade, reversão, etc. 3) Modelagem de sistemas de tempo real. Entidades e imagens em tempo real. 4) Prevenção e Tolerância a falhas. 5) Comunicação em tempo real: características e protocolos. 6) Os protocolos gatilhados por tempo – TTPs. 7) Operações de entrada/saída. 8) Sistemas operacionais de tempo real. 9) Agendadores e despachadores em tempo real. 10) Verificação e validação. 11) Projeto de sistemas de controle em tempo reais concentrados ou distribuídos via redes de comunicação. A arquitetura gatilhada no tempo – TTA. 12) Problemas práticos e estudo de casos.

#### **Bibliografia**

KOPETZ, H. Real Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. Kluwer Academic Pub., Boston, MA, 1997.  
KLEINJOHANN, B., GAO, KOPETZ, H., KLEINJOHANN, L., RETTBERG, A. (eds.) Design Methods and Applications for Distributed Embedded Systems. Springer-Verlag, Berlin, DE, 2004.  
FUJIMOTO, R. Network Simulations. Morgan and Claypool Pub.; New York, NY, 2007).  
FUJIMOTO, R. Parallel and Distributed Simulations. Wiley-Interscience, New York, NY, 2000.  
FARINES, J. M., FRAGA, J. S., OLIVEIRA, R.S. Sistemas de Tempo Real. IME-USP, São Paulo, SP, BR, 2000.  
MEDIN, A. L., DAHMANN, J. HLA Rules. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.  
MEDIN, A. L., DAHMANN, J. HLA Interface Specification. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.  
MEDIN, A. L., DAHMANN, J. Object Model Template Specification. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.

<b>CMC-334-4</b>	<b>Métodos dos Elementos Finitos Aplicado à Engenharia Elétrica</b>
------------------	---

#### **Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Mario Cesar Ricci

Elementos finitos unidimensionais. Elementos triangulares de 1ª ordem para problemas planos. Representação de campos magnéticos. Elementos triangulares para a equação escalar de Helmholtz. Elementos finitos para operadores integrais. Operadores diferenciais em materiais ferromagnéticos. Problemas bidimensionais nos domínios do tempo e frequência. Problemas tridimensionais. Soluções numéricas.

### **Bibliografia**

REDDY, J. An Introduction to the Finite Element Method. Engineering Series, McGraw-Hill Science/Engineering/Math. 3<sup>rd</sup> Ed., 2005.  
BASTOS, J. P. A.; SADOWKI, N. Electromagnetic Modeling by Finite Element Methods (Electrical and Computer Engineering). CRC Press, 1<sup>st</sup> Ed., 2003.  
ZIENKIEWICZ, O. C.; TAYLOR, R. L.; ZHU, J. Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. Butterworth-Heinemann, 6<sup>th</sup> Ed., 2005.  
KWON, Y. W.; BANG, H. The Finite Element Method Using MATLAB. CRC Press, 2<sup>nd</sup> Ed. 2000.

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM  
MECÂNICA ESPACIAL E CONTROLE**

**3º PERÍODO LETIVO E SEQUINTE**

<b>CMC-229-1</b>	<b>Seminário de Dinâmica Orbital III</b>
------------------	--

**Obrigatória**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 30 horas

Tópicos de pesquisa em desenvolvimento no departamento que ofereçam possibilidades para a definição de Teses e Dissertações.

**Bibliografia**

Artigos de revistas especializadas nos temas tratados e notas de aulas.

<b>CMC-209-3</b>	<b>Controle Adaptativo I</b>
------------------	------------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-201-4 ou equivalente

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Mario Cesar Ricci

Introdução: identificação e controle adaptativos, definições, esquemas adaptativos, ganho escalonado, modelo de referência, auto-sintonizado, estocástico. Teoria da estabilidade: definições de estabilidade, teoria da estabilidade de Lyapunov, teoremas da estabilidade exponencial, funções positiva-real e passividade, lema de Kalman-Yacubovic, estabilidade entrada-saída. Controle adaptativo: controle direto com erro de entrada, controle direto com erro de saída, controle indireto, posicionamento de polos. Convergência de parâmetros: avaliação da convergência, técnica de rateio ou mediação (Averaging), excitação persistente, aplicações para controle adaptativo. Robustez: controle adaptativo na presença de distúrbios, incertezas estruturadas e não-estruturadas, robustez de algoritmos com persistência de excitação, análise de casos de instabilidade, métodos de melhoria da robustez.

**Bibliografia**

ANDERSON, B. D. O. e outros. Stability of Adaptive Systems Passivity and Averaging Analysis. MIT Press, 1986.

ASTROM, K. J. ; WITTENMARK, B. Adaptive Control. Addison Wesley, 1989.

CHALAM, V. V. Adaptive Control Systems: Techniques and Applications. Marcel Dekker, 1987.

NARENDRA, K. S.; ANNASWAMY, A. M. Stable Adaptive Systems. Prentice-Hall, 1989.

SASTRY, S.; BODSON, M. Adaptive Control: Stability, Convergence and Robustness. Prentice-Hall, 1989.

**Eletiva****Pré-requisito:** CMC-021-0 ou equivalente**Carga horária:** 60 horas**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Introdução aos sistemas de manipulação (aquisição-entrada/ condicionamento-análise-processamento/exibição-saída- E/P/S) de dados para controle e aos seus elementos. Origens e breve história dos sistemas de E/P/S de dados para controle e aos seus elementos. Noções de E/P/S de dados para controle de sistemas e de processos, em tempo/evento contínuo ou discreto; com grandezas ou sinais lógicos, analógicos, discretos ou digitais; etc. Sensores/ transdutores, instrumentos, acionadores, painéis e monitores de E/P/S de dados, padrões (de 4 a 20 mA, 1 a 5 V), etc. Noções de transmissão e recepção de dados, sinal, portadora, ruído, largura de faixa, telemetria/telecomando, codificação/decodificação, multiplexagem/de multiplexagem e modulação/demodulação no tempo e na frequência, AM, FM, PAM, PDM, PPM, PCM, FSK, PSK, RZ, NRZ, etc. Noções de E/P/S de dados para controle por computador: controle digital direto, controle sequencial/por eventos, controle supervisorio, SDCDs, etc. Noções de conversores A/D e D/A, buffers, bancos de dados temporais e relacionais, monitores, etc. Arquiteturas de sistemas de E/P/S de dados para controle por computador: localizada, distribuída, inteligente, mista, OSI, etc. Idem para computação lógica, analógica ou digital. Interfaces, barramentos e protocolos: características (físicas, lógicas, temporais, por camadas, etc.) essenciais ou desejáveis. Requisitos de fidelidade, sincronização, temporalidade, confiabilidade, detecção e correção de erros, etc. Noções dos padrões EIA RS-232, RS-422, IEEE488, TCP/IP, UDP, ETHERNET, FAST ETHERNET, MIL1553, ARINC429, ARINC6XX, FIELDBUS, PROFIBUS, etc. Noções de interface homem-máquina (IHM). Ambientes de análise e desenvolvimento: operação em tempos virtual ou real, interfaces amigáveis ou visuais; orientação a objetos, conversão de protocolos, análise no tempo (respostas a impulso, degrau, rampa, senóide, etc.) e na frequência (DFT, FFT, espectros, etc.), filtros (antialiasing, Gauss, Kalman, etc.), estatísticas, alarmes, etc. Noções de: especificações e métricas, análise e projeto, arquitetura e hardware, tolerância a falhas, etc. Verificação, validação e certificação de sistemas de E/P/S de dados para controles. Estudo de casos.

**Bibliografia**

- BENNET, S., LINKENS, D. A. (eds.) Real-Time Computer Control. London, UK, Peter Peregrinus Ltd., 1984.
- RIGBY, W. H.; DALBY, T. Computer Interfacing: A Practical Approach to Data Acquisition and Control. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, Inc., 1995.
- AUSLANDER, D. M.; SAGUES, P. Microprocessors for Measurement and Control. Berkeley, CA, Osborne/McGraw-Hill, 1972.
- MIRSKY, G. Microprocessors and Instrumentation. Moscow, URSS, Mir Publishers, 1987.
- ZELENOVSKY, R.; MENDONÇA, A. PC: Um Guia Prático de Hardware e Interfaceamento (2ª edição). Rio de Janeiro, RJ, Editora Interciência, Ltda. 1999.
- MENDONÇA, A.; ZELENOVSKY, R. PC e Periféricos: Um Guia Completo de Programação. Rio de Janeiro, RJ, Editora Ciência Moderna, Ltda. 1996.
- POURNELLE, J.; BANKS, M. PC Communications Bible. Redmond, WA, Microsoft Press, 1992.
- MARTIN, J.; LEBEN, J. Data Communication Technology. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, Inc., 1988.
- DOEBELIN, E.O. Measurement Systems: Application and Design (3rd edition). New York, NY, McGraw-Hill, 1983.
- NORTON, H. N. Sensor and Analyzer Handbook. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, Inc., 1982.

SHERIDAN, T. B.; FERRELL, W. R. Man-Machine Systems: Information, Control, and Decision Models of Performance. Cambridge, MA, MIT Press, 1981.

<b>CMC-211-4</b>	<b>Modelagem e Tolerância à Falhas em Tempos Virtual e Real</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-021-0 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

1) Introdução aos modelos e à modelagem. Origens e breve história dos modelos e da modelagem. Noções e tipos de modelos: concretos (modelos físicos: maquetes, protótipos, modelos em escala, etc.) ou abstratos (modelos lógicos, matemáticos, computacionais: tabelas, gráficos, equações, programas, etc.); estáticos ou dinâmicos; em tempo/evento contínuo ou discreto; com grandezas ou sinais lógicos, analógicos, discretos ou digitais; etc. Noções de modelagem. O compromisso básico da modelagem: simplicidade x fidelidade. Graus de realismo. Erros de modelagem. 2) Métodos de modelagem. Lógica booleana e modelos lógicos (combinacionais, sequenciais, máquinas de estado, etc.). Analogia e modelos análogos (diagramas de bloco, gráficos de fluxo de sinal, gráficos de ligação -“bond graphs” e seus elementos construtivos: causalidade e multiportas, transdutores e giradores). Modelos de sistemas elétricos, mecânicos, hidráulicos, eletromecânicos, térmicos, etc. 3) Introdução à Detecção, Diagnóstico e Tolerância a Falhas. Noções de falhas: em sensores, controladores/computadores, atuadores, na dinâmica, etc. Conceitos básicos: prevenção, correção e tolerância a falhas; redundância, confiabilidade, disponibilidade, etc. 4) Modelos de falhas: determinísticos, probabilísticos, de pior caso, com/em incertezas, etc. O modelo exponencial e seus desdobramentos. 5) Tipos de redundância: por hardware/funcional, por software/analítica, mista, “hot standby”, “cold standby”, etc. 6) Arquiteturas tolerantes a falhas: série, paralela, realimentada, mista, localizada, distribuída, etc. Funções da tolerância a falhas: geração de resíduos; detecção de falhas; diagnóstico/isolação/identificação de falhas; reconfiguração do sistema não falhado; cobertura (total ou parcial) de falhas; emissão de alarmes, registros, estatísticas, etc. 7) Geração de resíduos por redundância funcional, analítica, etc. Tipos dos resíduos e suas propriedades (temporais, frequenciais, direcionais, estatísticas, etc.) sem/com incertezas no modelo. 8) Fundamentos de estimação de parâmetros e sua relação com os conceitos de redundância analítica. 9) Implementação de geradores de resíduos por equações de paridade. 10) Ambientes para a construção de modelos de falhas. Características essenciais ou desejáveis. Operação em tempos virtual ou real; em batelada ou iterativa; interfaces amigáveis ou visuais, orientação a objetos; conversão de linguagens; geração de códigos e de documentação, etc. 11) Verificação, validação e certificação de modelos de falhas e de tolerância a falhas. Estudo de casos (modelagem de falhas e tolerância a falhas de veículos aeroespaciais, robôs, processos nucleares e industriais, etc.).

**Bibliografia**

TAKAHASHI, Y.; RABINS, M. J.; AUSLANDER, D. M. Control and Dynamic Systems. Reading, MA, USA, Addison-Wesley, 1970 (TRA).  
OGATA, K. System Dynamics. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1978 (O).  
SHEARER, J. L.; MURPHY, A. T., RICHARDSON, H.H. Introduction to System Dynamics. Reading, MA, USA, Addison-Wesley Pub. Co., 1967(SMR).  
KARNOPP, D.; ROSENBERG, R. System Dynamics: A Unified Approach. New York, NY, USA, John Wiley & Sons, 1975 (KR).  
GERTLER, J. J. Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems. New York, NY, USA, Marcel Dekker, Inc., 1998 (G).  
PATTON, R.; FRANK, P. M.; CLARK, R. N. (eds.) Fault Diagnosis in Dynamic Systems. London, UK, Prentice-Hall, 1989 (PFC).

PATTON, R.; FRANK, P. M.; CLARK, R. N. (eds.) Issues in Fault Diagnosis in Dynamic Systems. , UK, Springer-Verlag, 2000 (PFC).  
 LINKENS, D. A. (ed.) CAD for Control Systems. New York, NY, USA, Marcel Dekker, Inc., 1993 (L).  
 GOLDBERG, A., RUBIN, K. .S. Succeeding with Objects. Reading, MA, USA, Addison Wesley Pub. Co., 1995 (GR).

<b>CMC-212-3</b>	<b>Análise e Projetos de Sistemas de Controle Digitais</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-201-4 ou equivalente

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Elementos da arquitetura de computadores e de interfaces: dados digitais; CPU, memória, interfaces e controles internos; operações e interrupções de entrada/saída (E/S); relógios e sincronização externa; conversão analógica/digital (A/D) e digital/analógica; interfaces (A/D) para sensores; interfaces para atuadores; contatos; modulação por largura (PWM) e por frequência (PWM) de pulso. Sinais e sistemas discretos: modelos para amostragem de sinais contínuos; representação espectral e "aliasing" de dados amostrados; reconstituidores de dados: ideal e com segurador de ordem zero; transformada em  $Z$  e representação de sistemas por unções de transferência discretas; sistemas contínuos-discretos com dados amostrados. Estabilidade de sistemas com realimentação. Síntese de sistemas de controle por métodos clássicos. Aproximação para o projeto no plano  $s$ ; transformação bilinear (Tustin); mapeamento polo-zero; aproximação invariante segundo a resposta a impulso e a degrau. Métodos clássicos diretos no plano  $z$ . Problemas práticos e estudo de casos. Métodos de variáveis de estado: modelos com variáveis de estado para sistemas contínuo-discreto-discretos; colocação de polos e reconstrução do estado por observadores para sistemas com uma entrada a uma saída; controladores "dead-beat"; controle discreto ótimo linear quadrático. Efeitos do comprimento de palavra finito. Efeitos da amostragem e da quantização de coeficientes sobre o desempenho do controle. Conceito de estrutura de algoritmo e o impacto do arredondamento e do truncamento; quantização devida à aritmética de ponto fixo "Scaling" e "Overflow".

**Bibliografia**

FRANKLIN, G.; POWELL, D. Digital Control of Dynamic Systems. Reading, MA, Addison-Wesley, 1980.  
 ISERMANN, R. Digital Control Systems. New York, NY, Springer-Verlag, 1981.  
 KATZ, P. Digital Control using Microprocessors. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1981.  
 KUO, B. C. Digital Control Systems. New York, NY, Holt, Hinehart and Winston, 1980.  
 OGATA, K. Discrete Time Control Systems. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1987.

<b>CMC-213-3</b>	<b>Modelagem de Sensores e de Atuadores em Controle de Atitude e Órbita</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-201-4

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Mario Cesar Ricci

Revisão de mecânica: cinemática e dinâmica dos corpos rígidos. Sensores de posição empregados em determinação, navegação e controle: sensor solar,

magnetrômetro, sensor de estrela e sensor de horizonte. Sensores de velocidade Angular: Giroscópios, Acelerômetros. Atuadores externos: motores e jatos, bobinas. Atuadores internos: rodas de reação e volantes de inércia. Tópicos especiais: acelerômetros e plataforma inercial.

### **Bibliografia**

RADIX, J. C. Techniques Inertielles. Paris, Masson, 1972.  
RADIX, J. C. Gyroscopes e Gyrometres. Toulouse, Cepadues, 1978.  
WERTZ, J. R. Spacecraft Attitude Determination and Control. Hol., Dordrecht, D. Riedel, 1978.

<b>CMC-214-4</b>	<b>Satélites Artificiais: Constelações e Detritos Espaciais</b>
------------------	---

#### ***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-200-3, CMC-202-4 ou equivalente

***Carga horária:*** 60 horas

***Professores responsáveis:*** Marcelo Lopes de O. Souza e Evandro Marconi Rocco

1) Introdução às constelações de satélites artificiais. Origens e breve história das constelações lançadas/existentes/por lançar. Funções, tipos e características de constelações: geometria, posições relativas e absolutas, altitude, frequência e área de cobertura, etc. Vantagens e desvantagens. 2) Ciclo de vida das constelações e as fases associadas a cada um dos seus satélites: projeto, construção, lançamento, posicionamento, operação, rastreamento, controle, correção, de posicionamento, substituição, descarte, etc. 3) Métodos e estratégias usados em cada fase: correção da posição relativa versus absoluta, etc. 4) Políticas para o ciclo de vida de satélites visando reduzir a geração de detritos espaciais. Noções das normas técnicas e da legislação das agências e dos países construtores/lançadores/operadores. 5) Introdução aos detritos espaciais ("space debris"). Origens e breve história da observação dos detritos espaciais naturais, e da geração e observação dos primeiros detritos espaciais artificiais. Tipos e características dos agregados de detritos espaciais: órbitas, geometria, posições relativas e absolutas, altitude, frequência, densidade, etc. 6) Ciclo de vida dos detritos espaciais: geração, propagação em órbita, decaimento, colisão, etc. 7) Modelos, métodos e técnicas usadas na observação/no rastreamento dos detritos espaciais: radar, óptica, etc. Modelos, métodos e técnicas usadas na propagação direta e inversa (para a sua origem) dos detritos espaciais. 8) Propagação de cada detrito por modelos semi-keplerianos, de n corpos, etc. Propagação do agregado de detritos por vetor de médias e matriz de covariância; por métodos das Mecânicas Analítica, Estatística, do Contínuo, etc. 9) O Teorema de Liouville na propagação do agregado de estados sobre "manifolds" no espaço de fase e de suas projeções no espaço de configuração de sistemas hamiltonianos. 10) A equação de Kolmogoro-Fokker-Planck-KFP para a difusão da incerteza sobre os mesmos estados nos mesmos espaços. 11) Outros modelos de propagação: empíricos, computacionais, catálogos, etc. e sua manutenção e atualização. 12) Políticas para o ciclo de vida de veículos, plataformas e experimentos visando reduzir a geração de detritos espaciais. Noções das normas técnicas e da legislação das agências e dos países construtores/lançadores/operadores.

### **Bibliografia**

VAN DER HA, J. C. (ed.) Mission Design & Implementation of Satellite Constellations. Proceedings of an International Workshop, Toulouse, France, November, 1997. Kluwer Academic Publications, October 1998 (V).  
ROCCO, E. M. Manutenção Orbital de Constelações Simétricas de Satélites Utilizando Manobras Impulsivas Ótimas com Vínculo de Tempo. S. José dos Campos, SP, INPE, 2002 (Tese de Doutorado) (R).



JOHNSON, N. L.; MCKNIGHT, D. S. Artificial Space Debris (Updated Edition). Malabar, FL, USA, Krieger Pub. Co., 1991 (JM).

CHOBOTOV, V. A. (ed.) Orbital Mechanics (2<sup>nd</sup>. ed.). Reston, VA, USA, AIAA, 1996 (C).

SOUZA, M. L. O.; NUNES, D. Forecasting Space Debris Distribution: A Measure Theory Approach. 51th. International Astronautical Congress.-IAC. Rio de Janeiro, RJ, 2-6 Out. 2000, Paper IAA-00-IAA .6.4.07. (SN).

ROSSER, J. B. (ed.). Space Mathematics, Part I. New York, USA, American Mathematical Society, 1966 (D1).

CHANDRASEKHAR, S. Principles of Stellar Dynamics. Chicago, IL, USA, Chicago Univ. Press, 1942; New York, NY, USA, Dover Pub., 1960 (C1).

LANCZOS, C. The Variational Principles of Mechanics (4<sup>a</sup> ed.). New York, NY, USA, Dover Pub., 1960 (L).

TOLMAN, R. C. The Principles of Statistical Mechanics. New York, NY, USA, Dover Pub., 1980 (T).

ARNOLD, V. I. Ordinary Differential Equations. Cambridge, MA, USA, The MIT Press, 1973 (A1).

ARNOLD, V. I. Geometric Methods in the Theory of Ordinary Differential Equations. New York, NY, USA, Springer-Verlag, 1982 (A2).

ARNOLD, V. I. Methods of Celestial Mechanics. New York, NY, USA, Springer-Verlag, 1982 (A3).

<b>CMC-215-4</b>	<b>Modelagem e Simulação em Tempos Virtual e Real</b>
------------------	---

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-021-0

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Introdução aos modelos e à modelagem. Origens e breve história dos modelos e da modelagem. Noções e tipos de modelos: concretos (maquetes, protótipos, modelos em escala, etc.) ou abstratos (modelos lógicos, modelos físicos, modelos matemáticos, etc.); estáticos ou dinâmicos; em tempo/evento contínuo ou discreto; com grandezas ou sinais lógicos, analógicos, discretos ou digitais; etc. Noções de modelagem. O compromisso básico da modelagem: simplicidade x fidelidade. Graus de realismo. Erros de modelagem. Métodos de modelagem. Lógica booleana e modelos lógicos. Analogia e modelos análogos. Representação de grandezas e relações. Determinação ou estimação de relações e grandezas. Noções da Teoria de Identificação. Métodos de identificação "off-line" e "on-line". Escalonamento de variáveis e constantes. Números característicos e noções da Teoria de Similaridade. Arquiteturas de modelagem: localizada, distribuída, HLA, etc. Ambientes e linguagens para a construção de modelos lógicos (tabelas-verdade, diagramas booleanos, diagramas com chaves, diagramas em escada, máquinas de estado, etc.) e de modelos análogos (diagramas de bloco, diagramas de fluxo de sinal, diagramas de ligação, equações algébricas, equações diferenciais, tabelas, relações empíricas, etc.). Computação lógica, analógica ou digital. Ambientes e linguagens computacionais correspondentes (CACSD). Características essenciais ou desejáveis. Operação em tempos virtual ou real; em batelada ou iterativa; interfaces amigáveis ou visuais, orientação a objetos; conversão de linguagens; geração de códigos, etc. Verificação, validação e certificação de modelos e modelagens. Estudo de casos.

**Bibliografia**

TAKAHASHI, Y.; RABINS, M. J.; AUSLANDER, D. M. Control and Dynamic Systems. Reading, MA, USA, Addison-Wesley, 1970 (TRA).

OGATA, K. System Dynamics. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1978.

SHEARER, J. L.; MURPHY, A. T.; RICHARDSON, H. H. Introduction to System Dynamics. Reading, MA, USA, Addison-Wesley Pub. Co., 1967.

KARNOPP, D.; ROSENBERG, R. System Dynamics: A Unified Approach. New York, NY, USA, John Wiley & Sons, 1975.

WHITE, F. M. Fluid Mechanics. New York, NY, USA, McGraw-Hill, 1979 (W).

SENA, L. A. Units of Physical Quantitates and their Dimensions. Moscow, Mir Publishers, 1972 (S).

SÉDOV, L. Similitude et Dimensions en Méchanique. Moscow, Editions MIR, 1977.

JOHANSSON, R. System Modeling and Identification. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1993 (J).

DOEBELIN, E. O. System Modeling and Response: Theoretical and Experimental Approaches. New York, NY, USA, John Wiley, 1980 (D).

EIKHOFF, P. System Identification. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1978

SEINFELD, J. H.; LAPIDUS, L. Process Modelling, Estimation and Identification. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1985.

LINKENS, D. A. (ed.) CAD for Control Systems. New York, NY, USA, Marcel Dekker, Inc., 1993.

GOLDBERG, A.; RUBIN, K. S. Succeeding with Objects. Reading, MA, USA, Addison Wesley Pub. Co., 1995.

MEDIN, A. L.; DAHMANN, J. HLA Rules. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.

MEDIN, A. L.; DAHMANN, J. HLA Interface Specification. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.

MEDIN, A. L.; DAHMANN, J. Object Model Template Specification. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.

<b>CMC-216-4</b>	<b>Modelagem e Identificação em Tempos Virtual e Real</b>
------------------	---

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-021-0 ou equivalente

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

1) Introdução aos modelos e à modelagem. Origens e breve história dos modelos e da modelagem. Noções e tipos de modelos: concretos (modelos físicos: maquetes, protótipos, modelos em escala, etc.) ou abstratos (modelos lógicos, matemáticos, computacionais: tabelas, gráficos, equações, programas, etc.); estáticos ou dinâmicos; em tempo/evento contínuo ou discreto; com grandezas ou sinais lógicos, analógicos, discretos ou digitais; etc. Noções de modelagem. O compromisso básico da modelagem: simplicidade x fidelidade. Graus de realismo. Erros de modelagem. 2) Métodos de modelagem. Lógica booleana e modelos lógicos (combinacionais, sequenciais, máquinas de estado, etc.). Analogia e modelos análogos (diagramas de bloco, gráficos de fluxo de sinal, gráficos de ligação "bond graphs" e seus elementos construtivos: causalidade e multiportas, transdutores e giradores). Modelos de sistemas elétricos, mecânicos, hidráulicos, eletromecânicos, térmicos, etc. 3) Introdução à Identificação. A Identificação como metodologia empírica. Representação, determinação ou estimação de relações e grandezas. Modelos para a identificação e o controle de sistemas dinâmicos: fenomenológicos, teóricos, "caixa branca", entrada-estado-CIs-saída, ABCD, etc.; ou comportamentais, empíricos, experimentais, "caixa preta", entrada-saída, G(s), etc., em tempo/evento contínuo ou discreto. 4) Arquiteturas de modelagem e identificação: localizada, paralela, distribuída, etc. Métodos de Identificação "off-line" e "on-line", da estrutura ou de parâmetros, estáticos ou dinâmicos, recursivos ou em batelada, no tempo ou na frequência, determinísticos ou probabilísticos, etc. 5) Identificação de sistemas lineares por métodos frequenciais e não paramétricos: resposta em frequência, função de transferência, etc. 6) Idem por periodograma, correlograma, etc. 7) Idem por séries temporais. 8) Idem por regressão linear. 9) Idem por mínimos quadrados. 10) Idem pela máxima verossimilhança. Convergência, consistência e tendenciosidade da estimação de parâmetros. 11) Ambientes para modelagem e identificação: características essenciais ou desejáveis. Operação em tempos virtual ou real; em batelada ou iterativa; interfaces amigáveis

ou visuais, orientação a objetos; conversão de linguagens; geração de códigos e de documentação, etc. Operação "stand-alone", com processador na malha, com hardware na malha, etc. 12) Verificação, validação e certificação de modelos e identificadores. Estudo de casos (caracterização, modelagem e calibração de instrumentos e simuladores físicos; identificação de veículos aeroespaciais, robôs, etc.).

### **Bibliografia**

- TAKAHASHI, Y.; RABINS, M. J.; AUSLANDER, D. M. Control and Dynamic Systems. Reading, MA, USA, Addison-Wesley, 1970 (TRA).
- OGATA, K. System Dynamics. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1978 (O).
- SHEARER, J. L.; MURPHY, A. T.; RICHARDSON, H. H. Introduction to System Dynamics. Reading, MA, USA, Addison-Wesley Pub. Co., 1967 (SMR).
- KARNOPP, D.; ROSENBERG, R. System Dynamics: A Unified Approach. New York, NY, USA, John Wiley & Sons, 1975 (KR).
- JOHANSSON, R. System Modeling and Identification. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1993 (J).
- DOEBELIN, E. O. System Modeling and Response: Theoretical and Experimental Approaches. New York, NY, USA, John Wiley, 1980 (D).
- EIKHOFF, P. System Identification. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1978 (E).
- SEINFELD; J. H.; LAPIDUS, L. Process Modelling, Estimation and Identification. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1985 (SL).
- SÖDERSTRÖM, T.; STOICA, P. System Identification. London, UK, Prentice-Hall, 1989 (SS).
- AGUIRRE, L. A. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. Editora UFMG, Belo Horizonte, MG, BR, 2000 (A).
- LINKENS, D. A. (ed.) CAD for Control Systems. New York, NY, USA, Marcel Dekker, Inc., 1993 (L).
- GOLDBERG, A.; RUBIN, K. S. Succeeding with Objects. Reading, MA, USA, Addison Wesley Pub. Co., 1995 (GR).

<b>CMC-222-4</b>	<b>Sistemas de Controle Embarcados</b>
------------------	--

#### ***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-212-3 ou equivalente

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

1) Introdução: Sistemas de controle em tempo real/embarcados. Estruturas e funções de computadores digitais. Níveis do processo de projeto quanto a: componentes de sistema, especificações de projeto, sistema de desenvolvimento, desenvolvimento de HW, desenvolvimento do SW; 2) Projeto em baixo nível: A linguagem de montagem, seus componentes, e sua integração; 3) Alternativas tecnológicas fundamentais; 4) Interfaces A/D e D/A com sinais e dispositivos externos; 5) Conexão de sistemas: comunicação serial, paralela, etc. e seus padrões; 6) Sistemas de entrada analógicas ou digitais; sistemas de saída analógicas ou digitais; 7) Projeto em médio nível: sistemas de microcomputação baseados em cartões/placas; Exemplos; 8) Projeto em alto nível: Projeto de sistemas de tempo real; 9) Linguagens de programação de tempo real. Exemplos; 10) Ferramentas de Implementação: Sistemas de desenvolvimento; 11) Sistemas operacionais de tempo real; 12) Problemas práticos e estudo de casos.

### **Bibliografia**

LAWRENCE, P. D.; MAUCH, K. Real Time Microcomputer System Design: An Introduction. McGraw-Hill, New York, NY, 1987.

HOUPIIS, C. H., LAMONT, G. B. Digital Control Systems: Theory, Hardware, Software (2<sup>nd</sup>. ed.). New York, NY, McGraw-Hill, Inc., 1992.

RIGBY, W. H.; DALBY, T. Computer Interfacing: A Practical Approach to Data Acquisition and Control. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, Inc., 1995.

KATZ, P. Digital Control using Microprocessors. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1981.

AUSLANDER, D. M.; SAGUES, P. Microprocessors for Measurement and Control. Berkeley, CA, Osborne/McGraw-Hill, 1972.

FRANKLIN, G. F.; POWELL, J. D.; WORKMAN, M. L. Digital Control of Dynamic Systems (3<sup>rd</sup>. ed.). Menlo Park, CA, Addison-Wesley Longman, Inc., 1998.

ISERMANN, R. Digital Control Systems. New York, NY, Springer-Verlag, 1981.

KUO, B. C. Digital Control Systems. New York, NY, Holt, Hinehart and Winston, 1980.

MIRSKY, G. Microprocessors and Instrumentation. Moscow, URSS, Mir Publishers, 1987.

ZELENOVSKY, R.; MENDONÇA, A. PC: Um Guia Prático de Hardware e Interfaceamento (2<sup>a</sup> edição). Rio de Janeiro, RJ, Editora Interciência, Ltda. 1999.

MENDONÇA, A.; ZELENOVSKY, R., PC e Periféricos: Um Guia Completo de Programação. Rio de Janeiro, RJ, Editora Ciência Moderna, Ltda. 1996.

POURNELLE, J.; BANKS, M. PC Communications Bible. Redmond, WA, Microsoft Press, 1992.

<b>CMC-223-3</b>	<b>Introdução à Filtragem Adaptativa</b>
------------------	--

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** não há

***Carga horária:*** 45 horas

***Professor responsável:*** Hélio Koiti Kuga

Filtros fixos; filtros adaptativos; filtragem de Wiener; superfície de desempenho; principais algoritmos adaptativos (LMS, RLS); análise estatística de algoritmos adaptativos; momentos de primeira e de segunda ordem; estabilidade e condições para convergência de algoritmos adaptativos; aplicações (identificação de sistemas, equalização adaptativa, controle ativo de ruído).

**Bibliografia**

HAYKIN, S. Adaptive Filter Theory, 4th Edition, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2002.

SAYED, A. H. Fundamentals of Adaptive Filters, New York; Wiley Interscience, 2003.

WIDROW, B.; STEARNS, S. D. Adaptive Signal Processing, NJ: Prentice-Hall, 1985.

MORGAN, D. R.; KUO, S. M. Active Noise Control Systems: Algorithms and DSP Implementations, John Wiley & Sons, NY, 1996.

<b>CMC-224-4</b>	<b>Otimização Multiobjetivo</b>
------------------	---------------------------------

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** não há

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Roberto Luis Galski

Breve introdução ao campo da otimização; Conceitos em otimização multiobjetivo: Espaço de busca, projeto ou decisão e espaço objetivo, dominância, otimalidade, soluções e fronteira de Pareto; Abordagens tradicionais à otimização multiobjetivo: Escalarização de critérios: -soma ponderada e outros; Abordagem evolutiva: Algoritmos evolutivos como otimizadores multiobjetivo; Classificações para algoritmos de otimização multiobjetivo; Algoritmos de primeira geração; Algoritmos de segunda geração; Otimização multiobjetivo para problemas com restrições;

Métricas de desempenho e avaliação de resultados; Novos algoritmos multiobjetivo; Aplicações de algoritmos multiobjetivo no projeto de sistemas espaciais.

### **Bibliografia**

DEB, K. Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. Chichester: John Wiley & Sons, 2001.  
COLLETTE, Y.; SIARRY, P Multiobjective Optimization: Principles and Case Studies. Springer, 2003.  
EIBEN, A. E.; SMITH, J. E. Introduction to Evolutionary Computing. Berlin: Springer, 2003.  
EMOO Web page, <http://www.lania.mx/~ccoello/EMOO/>

<b>CMC-226-2</b>	<b>Métodos da Ciência, Engenharia e Tecnologia III</b>
------------------	--

### **Eletiva**

**Pré-requisito:** Cursos de Graduação em Engenharias e Áreas Afins; Domínio de Lógica, Português e Inglês Técnicos.

**Carga horária:** 30 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

1) Métodos de Implementação: Origens/Antecedentes/Breve História. 2) Métodos de Implementação: A Prática da Tecnologia/Atualidade/ Tendências. 3) Métodos de Implementação: Observação/Descrição/ Nominação/Classificação. 4) Métodos de Implementação: Experimentação/ Testes/Modelagem/Simulação/ Verificação/ Validação. 5) Métodos de Implementação: Proposição e Validação de Implementações/Dedução/ Modelagem/Extrapolação/Racionalismo. 6) Métodos de Implementação: Comparação/Contraste/Assimilação. 7) Dados: Análise & Interpretação/ Indução/Identificação/Interpolação/Empiricismo. 8) Dados: Estatística/ Descrição/Redução/Armazenamento/Reducionismo. 9) Dados: Uso de Gráficos e Dados Visuais/Extração de Informações/ Sistematização de Informações/Abrangência. 10) Dados: Incerteza, Erro, e Confiança/Certeza/Dúvida/Ceticismo. 11) Comunicação Técnica: Entendendo Revistas e Artigos Técnicos/Divulgação. 12) Comunicação Técnica: Revisão por Pares/Compromisso/Ética.

### **Bibliografia**

Internet Encyclopedia of Philosophy-IEP. Philosophy of Technology. Disponível em: <http://www.iep.utm.edu/technolo/> . Acessado em 22-01-2014.  
Stanford Encyclopedia of Philosophy-SEP. Philosophy of Technology. Disponível em: <http://plato.stanford.edu/entries/technology/>. Acessado em 22-01-2014.  
FEENBERG, A. Ten Paradoxes of Technology. Techné, vol.14, n.1, pp 3-15, Winter 2010. Disponível em: <http://www.pdcnet.org/techne/free> . Acessado em 22-01-2014.  
SANDELL, M. Astronomy and Experimentation. Techné, vol.14, n.3, pp 252-269, Fall 2010. Disponível em: <http://www.pdcnet.org/techne/free> . Acessado em 22-01-2014.  
MCCLELLAN, J. E., DORN, H. Science and Technology in World History: An Introduction. Johns Hopkins University Press, 2<sup>nd</sup>. ed., Baltimore, MD, 2006.  
CARDWELL, D. Wheels, Clocks, and Rockets: A History of Technology. W. W. Norton & Company; Reprint Edition , New York, NY, 2001.  
FOX, R. Technological Change: Methods and Themes in the History of Technology. Routledge, Amsterdã, NE, 1995.  
DERRY, T. K., WILLIAMS, T. I. A Short History of Technology: From the Earliest Times to A.D. 1900. Dover Publications, New York, NY, 1993.  
PACEY, A. Technology in World Civilization: A Thousand-Year History. The MIT Press, Cambridge, MA, 1991.

\*\*\*\*\*

RUBENS, P. Science and Technical Writing: A Manual of Style, 2<sup>nd</sup>. ed. Routledge, Amsterdã, NE, 2000.  
 BOLLES, E. B. (Editor). Galileo's Commandment: 2,500 Years of Great Science Writing. Holt Paperbacks, New York, NY, 1999.  
 STRUNK JR. W., WHITE, E. B. The Elements of Style, 4<sup>th</sup>. ed. Longman, London, UK, 1999.  
 LAKATOS, E.V.; MARCONI, M. A. Fundamentos de Metodologia Científica. 4<sup>a</sup> ed. rev. e ampl. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2001.  
 MARCONI, M.A.; LAKATOS, E. M. Metodologia de Trabalho Científico, 6<sup>a</sup> ed. rev. e ampl. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2001.  
 ANDRADE, M. M. Como preparar trabalhos para cursos de Pós-Graduação. Noções e Práticas. 4<sup>a</sup> ed. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2001.

<b>CMC-300-4</b>	<b>Mecânica Celeste I</b>
------------------	---------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-200-3 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado

Problema dos N corpos. Problema dos 3 corpos. Problema restrito dos 3 corpos. Manobras assistidas por gravidade. Manobras orbitais impulsivas clássicas (Hohmann, bi-elíptica, etc.). Introdução a trajetórias Terra-Lua e interplanetárias. Introdução a manobras com empuxo contínuo.

**Bibliografia**

PRADO, A. F. B. A. Trajetórias Espaciais dentro da Dinâmica de Três Corpos. INPE-8037-PUD/44.  
 SZEBEHELY, V. G. Theory of orbits. New York, NY, Academic Press, 1967.  
 ROY, A. E. Orbital motion. Bristol, Inglaterra, Adam Hilger, 1988.  
 DANBY, J. M. A. Fundamentals of Celestial Mechanics. Richmond, Virginia, 1988.  
 CARROU, J. P. Spaceflight Dynamics. Toulouse, França, Cépaduès Editions, 1995.

<b>CMC-301-3</b>	<b>Funções da Física Matemática</b>
------------------	-------------------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Hans-Ulrich Pilchowski

Teoria das funções ortogonais. Desenvolvimento em séries de funções arbitrárias. Séries de Fourier. Harmônicos esféricos. Funções hipergeométricas e hipergeométricas confluentes. Funções Gama e Beta. Funções e integrais elípticas. Autovalores e autofunções.

**Bibliografia**

ARFKEN, G. B.; WBER, H. J. Mathematical Methods for Physicists. 4th ed. San Diego, CA, Academic Press, 1995.  
 BUTKOV, E. Mathematical Physics. Reading, MA, Addison-Wesley, 1968.  
 HILDEBRAND, F. B. Methods of Applied Mathematical. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1965.  
 COURANT, R.; HILBERT, D. Methods of Mathematical Physics. New York, NY, Interscience Publishers, 1966.  
 SOKOLNIKOFF, I. S.; REDHEFFER, R. M. Mathematics of Physics and Modern Engineering. 2nd ed. New York, NY, McGraw-Hill, 1966

<b>CMC-305-4</b>	<b>Teoria das Perturbações</b>
------------------	--------------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-407-4 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado

Transformações Canônicas. Função geradora de Hamilton-Jacobi (S). Função geradora de Lie (W). Séries de Lie. Relação entre S e W. Variação das integrais pelo método de Poisson. Variação das constantes arbitrárias pelo método de Lagrange. Teorema de Jacobi e aplicações. Método de Lindstedt. Método de KBM. Método de Van der Pol. Método de Delaunay. Método de Lindstedt-Poincaré. Método de Van Zeipel-Brouwer. Método de Lie-Hori. Método de Hori para variáveis não canônicas. Ressonâncias não-linear. Aplicações.

**Bibliografia**

GIACAGLIA, G. E. O. Perturbation Methods in Nonlinear Systems. New York, NY, Springer-Verley, 1972.

LANCZOS, C. Variational Principles of Mechanics. 3ed. Toronto, University of Toronto Press, 1966.

POINCARÉ, H. New Methods of Celestial Mechanics. Washington, DC, NASA, 1957.

<b>CMC-306-4</b>	<b>Otimização em Sistemas Dinâmicos II</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-204-4 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Hélio Koiti Kuga

Colocação do problema de estimação ótimo: exemplos de aplicação. Fundamentos I: revisão de álgebra de matrizes; revisão dos elementos necessários da Teoria de Probabilidades. Teoria de Estimação em sistema estáticos: estimação e identificação de parâmetros: exemplos e aplicação. Fundamentos II: revisão dos elementos necessários de equações diferenciais ordinárias; revisão dos elementos necessários de processos estocásticos; exemplos de aplicação. Teoria de Estimação em sistemas dinâmicos: sistemas lineares e filtros de Kalman; sistemas não lineares e filtro estendido de Kalman; exemplos e aplicações.

**Bibliografia**

BRYSON JR., A. E.; CHI Ho, Y. Applied Optimal Control. Waltham, MA, Ginn, 1969.

GELB, A. (ed.) Applied Optimal Estimation. Cambridge, MA, MIT Press, 1974.

JAZWINSKI, A. H. Stochastic Processes and Filtering Theory. New York, NY, Academic Press, 1970.

LIEBELT, P. B. An Introduction to Optimal Estimation. Reading, MA, Addison-Wesley, 1967.

MAYBECK, P. S. Stochastic Models, Estimation, and Control. v.1, 2, 3. New York, NY, Academic Press, 1980, 1981, 1982.

<b>CMC-307-3</b>	<b>Aerodinâmica de Satélites</b>
------------------	----------------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Valdemir Carrara

Breve revisão dos conceitos de Termodinâmica e Dinâmica de Gases; propriedades de equilíbrio de gases e altas temperaturas; escoamento de gases rarefeitos; conceitos do número de Knudsen e classificação de regimes de escoamento; função de distribuição. Equação de Boltzmann; distribuição de equilíbrio; introdução e transferência de radiação e escoamento de gases reagentes. Aplicações ao estudo da estrutura da esteira de satélites e veículos reentrando na atmosfera.

### **Bibliografia**

CHAPMAN, S.; COWLING, T. G. The Mathematical Theory of Nonuniform Gases. Cambridge, Cambridge University Press, 1970.  
DORRANCE, H. Viscous Hypersonic Flow. New York, NY, John Wiley, 1967.  
HIRSCHFELDER, J. O.; CURTISS, C. F.; BIRD, R. B. Molecular Theory of Gases and Liquids. New York, NY, John Wiley, 1964  
SCHLICHTING, H. Boundary Layer Theory. New York, NY, McGraw-Hill, 1968.

<b>CMC-309-4</b>	<b>Mecânica Celeste II</b>
------------------	----------------------------

#### ***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-200-3 ou equivalente

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado

Variação dos elementos, Equações de Lagrange e Gauss. Função perturbadora. Desenvolvimento da função perturbadora. Termos periódicos e seculares. Pequenos divisores. Perturbação de 3º corpo. Métodos de média. Expansão do potencial terrestre. Órbitas heliossíncronas. "Frozen orbits".

### **Bibliografia**

PRADO, A. F. B. A. Introdução às Perturbações Orbitais e suas Aplicações. INPE-8309-PUD/49.  
ROY, A. E. Orbital Motion. Bristol, Inglaterra, Adam Hilger, 1988.  
DANBY, J. M. A. Fundamentals of Celestial Mechanics. Richmond, Virginia, 1988.  
CARROU, J. P. Spaceflight Dynamics. Toulouse, França, Cépaduès-Editions, 1995.

<b>CMC-310-4</b>	<b>Guiagem e Controle</b>
------------------	---------------------------

#### ***Eletiva***

***Pré-requisito:*** não há

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Waldemar de Castro Leite Filho

Sistemas de coordenadas no espaço e no tempo. Teoria observacional e sensores: radiação - óptica, rádio, radar; inercial: giroscópios, acelerômetros; relações do vetor de estado; erros observacionais. Determinação e estimação de estado. Técnicas de guiagem de propulsores: guiagem adaptativa à trajetória (iterativa), guiagem por perturbação. Equações de guiagem para operações orbitais. Equações de guiagem para "rendez-vous" terminais. Aplicação de técnicas de otimização em: problema de propulsão, problema orbital ("rendez-vous") terminal e transferência de órbita. Restrições de missão e interfaces de trajetória. Análise do desempenho de sistemas de guiagem.

### **Bibliografia**

WERTZ, J. R. Spacecraft Attitude Determination and Control. Dordrecht, Holland, D. Reidel, 1978.



GREENSITE, A. L. Analysis and Design of Space Vehicle Flight Control Systems. New York, Spartan Books, 1970.

<b>CMC-311-2</b>	<b>Projeto de Sistemas de Controle Multivariáveis I</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-204-4 ou equivalente

**Carga horária:** 30 horas

**Professor responsável:** Luiz Carlos Gadelha de Souza

Revisão de conceitos de projeto de sistemas de controle escalares (uma entrada, uma saída). Definições de polos, zeros e estabilidade de sistemas de controle multivariáveis (múltiplas entradas, múltiplas saídas). Desempenho e robustez de sistemas de controle multivariáveis. projeto de sistemas de controle multivariáveis usando técnicas do tipo Nyquist. Métodos LQG. Parametrização de Youla e aplicação de controle ótimo H infinito.

**Bibliografia**

DOYLE, J. C.; FRANCIS, B. A.; TANNEMBAUM, A. R. Feedback Controle Theory. Macmillan, 1992.

MACIEJOOWSKI, J. M. Multivariable Feedback Design. Addison-Wesley, 1989.

MONARI, M.; ZAFIRIOU, E. Robust Process Control. Prentice-Hall, 1989.

<b>CMC-312-4</b>	<b>Vibração Estrutural</b>
------------------	----------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Ijar Milagre da Fonseca

Conceitos de álgebra linear. Vibração livre e forçada. Problemas de autovalor, comportamento qualitativo e auto solução, métodos de cálculo. Resposta de sistemas discretos. Sistemas contínuos, discretização, solução pelo método de elementos finitos. Sistemas com grande número de graus de liberdade. Método de subestrutura. Teoria geométrica de sistemas não linear.

**Bibliografia**

HARTOG, J. P. Mechanical Vibrations. New York, NY, McGraw-Hill, 1956.

MEIROVITCH, L. Computational Methods in Structural Dynamics. Rockville, MD, Stijhoff e Noordhoff, 1980.

MEIROVITCH, L. Elements of Vibration Analysis. New York, NY, McGraw-Hill, 1975.

<b>CMC-313-3</b>	<b>Otimização Estrutural</b>
------------------	------------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Ijar Milagre da Fonseca

Formulação geral do problema de projeto ótimo. Programação linear. Otimização sem restrição. Otimização com restrição. Métodos heurísticos.

## **Bibliografia**

- FOX, R. L. Optimization Methods for Engineering Design. Addison-Wesley, Reading, 1971.
- GALLAGER, R. H.; ZIENKIEWICZ, C. (ed.) Optimum Structural Design Theory and Applications. John Wiley, New York, 1997.
- KIRSCH, U. Optimum Structural Design. McGraw-Hill, New York, 1981.
- VANDERPLAATS, G. N. Numerical Optimization Techniques for Engineering Design. McGraw-Hill, 1984.
- HAFTKA, R. T.; GÜRDAL, Z. Elements of Structural Optimization. Kluwer Academic Publishers, 1996.

<b>CMC-314-4</b>	<b>Entrada Planetária I</b>
------------------	-----------------------------

### ***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-202-4 e CMC-301-3 ou equivalentes

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:***

Descrição genérica das manobras de entrada planetária. Modelos atmosféricos, planetários e gravitacionais tipicamente utilizados em mecânica de voo a hipervelocidades. Conceitos básicos de aerotermodinâmica e gasdinâmica rarefeita. Rudimentos de escoamentos hipersônicos. Dinâmica de reentrada - segunda lei de Newton e mecânica da partícula. Relação entre dinâmica e trocas térmicas. Classes de manobras de reentrada: balística, em “gliding e de skip”. Manobras aeroassistidas: “aerobraking, aerocapture e aerogravity assist”. Adimensionalização das equações de voo. Movimento angular durante a entrada. Características de estabilidade longitudinal: modos “fugóide e de pitching”.

## **Bibliografia**

- REGAN, F. J.; ANANDAKRISHNAN, S. M. Dynamics of Atmospheric Re-Entry. Washington, DC, AIAA Education Series, AIAA, 1993.
- VINH, N. X.; BUSEMANN, A; CULP, R. D. Hypersonic and Planetary Entry Flight Mechanics. Ann Arbor, MI, The University of Michigan Press, 1980.
- LOH, W. H. T. Dynamics and Thermodynamics of Planetary Entry. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1963.
- MARTIN, J. J. Atmospheric Reentry: An Introduction to its Science and Engineering. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1966.
- ANDERSON, J. D. Hypersonic and High Temperature Gas Dynamics. New York, NY, McGraw-Hill, 1989.
- ANDERSON, J. D. Fundamentals of Aerodynamics. 2nd ed. McGraw-Hill, New York, NY, 1995.
- GOMBOSI, T. I. Kinetic Theory of Gases. New York, NY, Cambridge University Press, 1993.

<b>CMC-315-3</b>	<b>Estabilidade I</b>
------------------	-----------------------

### ***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-021-0, CMC-201-4, CMC-205-4 e CMC-407-4

***Carga horária:*** 45 horas

***Professor responsável:*** Mario Cesar Ricci

Critérios de estabilidade para sistemas lineares: Routh, Hurwitz, Nyquist, Hermite, Orlando, Liénard-Chipart e Pontryagin. Índice de Cauchy. Teoremas de Sturm e Kharitonov. Critérios de estabilidade para sistemas não-lineares. Estabilidade no sentido de Poincaré. Os teoremas de Lyapunov. Expoentes e funções de Lyapunov. Sistemas periódicos e a teoria de Floquet. O problema de Letov-Lur'e e as

conjecturas de Aizerman e Kalman. O critério de Popov. Lema de Meyer-Kalman-Yakubovich. *Time-varying feedback* e o critério do círculo.

### **Bibliografia**

- PARKS, P. C.; HAHN, V. Stability Theory. London, UK, Prentice-Hall International, 1993.
- JORDAN, D. W.; SMITH, P. Nonlinear Ordinary Differential Equations. 2nd ed., Oxford, UK, Clarendon, 1987.
- KHALIL, H. K. Nonlinear Systems. 2nd ed., Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1996.
- VERHULST, F. Nonlinear Differential Equations and Dynamical Systems. Berlin, Springer-Verlag, 1990.
- CODDINGTON, E. A.; LEVINSON, N. Theory of Ordinary Differential Equations. New York, NY, McGraw-Hill, 1955.
- POPOV, V. M. Hyperstability of Control Systems. New York, NY, Springer-Verlag, 1973.
- HAHN, W. Stability of Motion. New York, NY, Springer-Verlag, 1967.
- PONTRYAGIN, L.S. Ordinary Differential Equations. Reading, MA, Addison-Wesley, 1962.
- LA SALLE, J.; LEFSCHETZ, S. Stability by Lyapunov's Direct Methods. New York, NY, Academic Press, 1961.
- LYAPUNOV, A. M. Stability of Motion. New York, NY, Academic Press, 1966
- MINORSKY, N. Nonlinear Oscillation. New York, NY, Van Nostrand, 1962.

<b>CMC-316-4</b>	<b>Satélites Artificiais - Movimento de Atitude</b>
------------------	---

#### ***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-200-3 ou equivalente

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Hans- Ulrich. Pilchowski

Natureza da atmosfera superior; classificação de forças e conjugados agindo em satélites e análise de sua influência; avaliação de torques devidos a gradientes de gravidade; efeito do achatamento terrestre. Forças e conjugados aerodinâmicos; aplicação da teoria cinética ao escoamento livre de moléculas; tensor de tensão em áreas infinitesimais; aplicações a corpos simples. Introdução a forças e conjugados eletromagnéticos, de Coulomb, de indução e de correntes de Foucault. Efeitos do campo gravitacional terrestre. Forças e conjugados devidos à pressão de radiação solar. Aplicações e problemas típicos.

### **Bibliografia**

- BELETSKII, V. V. Motion of an Artificial Satellite about its Center of Mass. Jerusalem, IPSI, 1966.
- CHAPMAN, S.; COWLING, T. G. The Mathematical Theory of Nonuniform Gases. Cambridge, Cambridge University Press, 1970.
- SCHAAF, S. A.; CHAMBREE, P. L. Flow of Rarefied Gases. Princetn, NY, Princeton University, 1961.
- SINGER, S. F. Torques and Attitude Sensing in Earth Satellites. New York, NY, Academic Press, 1964.

<b>CMC-317-3</b>	<b>Controle Ótimo de Sistemas Dinâmicos: Métodos Numéricos</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-204-4 ou equivalente

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Otimização de parâmetros: métodos Gradiente; método de Newton-Raphson; exemplos e desenvolvimento de algoritmos. Programação. Dinâmica: problema linear com critério de otimização quadrático; tratamento de vínculos de desigualdade: exemplos e desenvolvimento de algoritmos. Variação de primeira ordem e método de gradiente em sistemas dinâmicos; exemplos e desenvolvimento de algoritmos. Variação de segunda ordem e método de perturbação na solução numérica de sistemas dinâmicos; exemplos e desenvolvimento de algoritmos.

**Bibliografia**

BRYSON JR., A. E.; NO, Y. C. Applied Optimal Control. Waltham, MA, Ginn and Company, 1969.  
CITRON, S. J. Elements of Optimal Control. New York, NY, Holt, Rinehart and Winston, 1969.  
LEONDES, C. T. Control and Dynamic Systems. New York, NY, Academic Press, v.1-24, 1964/88.

<b>CMC-318-4</b>	<b>Simulação e Controle em Tempos Virtual e Real</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-215-4 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Introdução aos simuladores e à simulação. Origens e breve história dos simuladores e da simulação. Noções e Tipos de simuladores: concretos (usando maquetes, protótipos, modelos em escala, simuladores físicos, etc.) ou abstratos (usando modelos lógicos, modelos físicos, modelos matemáticos, simuladores computacionais, etc.); estáticos ou dinâmicos; em tempo/evento contínuo ou discreto; com grandezas ou sinais lógicos, analógicos, discretos ou digitais; etc. Noções de simulação. O compromisso básico da simulação: transparência x fidelidade. Graus de realismo e de transparência. Erros de simulação. Arquiteturas de simulação: localizada, distribuída, HLA, etc. Métodos de simulação. simulações física, computacional e mista. Caracterização, modelagem e calibração de simuladores físicos. Ambientes e linguagens de simulação computacional. Computação lógica, analógica ou digital. Ambientes e linguagens computacionais correspondentes (CACSD). Características essenciais ou desejáveis. Operação em tempos virtual ou real; em batelada ou iterativa; interfaces amigáveis ou visuais; orientação a objetos, conversão de linguagens; geração de códigos, etc. Interação de simuladores físicos e computacionais. Operação "stand-alone", com processador na malha, com hardware na malha, etc. Verificação, validação e certificação de simuladores e simulações. Estudo de casos.

**Bibliografia**

ROSKO, J. S. Digital Simulation of Physical Systems. Reading, MA, USA, Addison Wesley Pub. Co., 1972.  
SHANNON, R. Systems Simulation: The Art and Science. Prentice-Hall, 1975.  
BENNET, B. S. Simulation Fundamentals. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1995.  
BANKS, J. (ed.) Handbook of Simulation. New York, NY, John Wiley & Sons, Inc./EMP Books, 1998(B).

- LINKENS, D. A. (ed.) CAD for Control Systems. New York, NY, USA, Marcel Dekker, Inc., 1993.
- GOLDBERG, A.; RUBIN, K. S. Succeeding with Objects. Reading, MA, USA, Addison Wesley Pub. Co., 1995.
- MEDIN, A. L.; DAHMANN, J. HLA Rules. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.
- MEDIN, A. L.; DAHMANN, J. HLA Interface Specification. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.
- MEDIN, A. L.; DAHMANN, J. Object Model Template Specification. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.
- FARINES, J. M., FRAGA, J. S., OLIVEIRA, R.S. Sistemas de Tempo Real. IME-USP, São Paulo, SP, BR, 2000.
- GRANTHAM, C.; WILL, R. A Real-Time Space-Station Dynamics and Control System Simulation. Washington D.C., NASA, 1971. (NASA TND-6449).
- KAYLOR, J. T.; ROWELL, L. F.; POWELL, R. W. A Real-Time Digital Computer Program for the Simulation of Automatic Spacecraft Reentries. Washington D.C., NASA, 1977 (NASA TM X-3496).
- ARPASI, D. J.; BLECH, R. A. Applications and Requirements for Real-Time Simulators in Ground-Test Facilities. Washington D.C., NASA, 1986 (NASA TP 2672).

<b>CMC-319-4</b>	<b>Identificação e Controle em Tempos Virtual e Real</b>
------------------	--

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-216-4 ou equivalente

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

1) Modelos AR, MA, ARX, ARMAX, ARIMAX, etc. Métodos recursivos para a identificação de parâmetros. Método dos mínimos quadrados generalizado e suas variantes: ponderado, com memória, recursivo, etc. Fator de esquecimento para a identificação de sistemas não estacionários. 2) Estimadores de Bayes, Máxima Verossimilhança, Gauss-Markov, e suas variantes. 3) Filtros: de Wiener, Kalman-Bucy, Luenberger, etc. 4) O filtro estendido de Kalman na identificação de sistemas MIMO. 5) Redes neurais e suas variantes: FLN, MLP, RBF, etc. 6) Identificação em malha fechada. Introdução à identificação de sistemas não lineares. Introdução à identificação em tempo contínuo. 7) Arquiteturas de identificação e controle: localizada, paralela, distribuída, etc. Métodos para identificação e controle sem e com estimativas do estado: Controle por Escalonamento de Ganhos, por Modelo de Referência, por Adaptação, etc. 8) Conceito e objetivos do Controle Adaptativo (CA). Introdução às várias categorias de CAs (determinísticos, estocásticos, duais, não duais, etc.). 9) O controle autosintonizável para sistemas SISO e MIMO. 10) O controlador de variância mínima para sistemas SISO e MIMO. 11) Ambientes para identificação e controle: características essenciais ou desejáveis. Operação em tempos virtual ou real; em batelada ou iterativa; interfaces amigáveis ou visuais; orientação a objetos, conversão de linguagens; geração de códigos e documentação, etc. Operação "off-line" ou "on-line"; "stand-alone", com processador na malha, com hardware na malha, etc. 12) Verificação, validação e certificação de identificadores e controladores. Estudo de casos (identificação e controle de simuladores físicos, veículos aeroespaciais, robôs, etc.).

**Bibliografia**

- JOHANSSON, R System Modeling and Identification. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1993 (J).
- DOEBELIN, E. O. System Modeling and Response: Theoretical and Experimental Approaches. New York, NY, USA, John Wiley, 1980 (D).
- EIKHOFF, P System Identification. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1978 (E).

SEINFELD, J. H.; LAPIDUS, L. Process Modelling, Estimation and Identification. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1985 (SL).

SÖDERSTRÖM, T.; STOICA, P. System Identification. London, UK, Prentice-Hall, 1989 (SS).

AGUIRRE, L. A. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. Editora UFMG, Belo Horizonte, MG, BR, 2000 (A).

ÅSTROM, K. J; WITTENMARK, B. Adaptive Control. New York, USA, Addison-Wesley, 1989 (AW).

ISERMANN, R.; LACHMAN, K. H.; MATKO, D. Adaptive Control Systems. London, UK, Prentice-Hall, 1992 (ILM).

LINKENS, D. A. (ed.) CAD for Control Systems. New York, NY, USA, Marcel Dekker, Inc., 1993.

GOLDBERG, A.; RUBIN, K. S. Succeeding with Objects. Reading, MA, USA, Addison Wesley Pub. Co., 1995 (GR).

<b>CMC-320-4</b>	<b>Tolerância à Falhas e Controle em Tempos Virtual e Real</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-211-4 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

1) Projeto de geradores para resíduos estruturados. 2) Projeto de geradores para resíduos direcionais. 3) Geração de resíduos para falhas paramétricas. 4) Robustez na geração de resíduos. 5) Detecção por testes (em batelada, sequenciais, determinísticos, probabilísticos, pior caso, etc.) de hipóteses (decisão, falso alarme, “missing”, indecisão, etc.) sobre as propriedades dos resíduos sem/com incertezas no modelo. 6) Diagnóstico/isolação/identificação por testes de hipóteses sobre as propriedades dos resíduos sem/com incertezas no modelo. 7) Testes estatísticos dos resíduos. 8) Identificação de modelos para o diagnóstico de falhas aditivas. 9) Diagnóstico de falhas multiplicativas por estimação de parâmetros. 10) Reconfiguração/cobertura das falhas, lógica de comutação, modos degradados/de emergência, índices de desempenho, etc. Características do controle tolerante a falhas: estabilidade, transitório, regime permanente, robustez, etc. 11) Ambientes para a construção de controles tolerantes a falhas. Características essenciais ou desejáveis. Operação em tempos virtual ou real; em batelada ou iterativa; interfaces amigáveis ou visuais, orientação a objetos; conversão de linguagens; geração de códigos e de documentação, etc. 12) Verificação, validação e certificação de controles tolerantes a falhas. Estudo de casos (controles tolerantes a falhas de veículos aeroespaciais, robôs, processos nucleares e industriais, etc.).

**Bibliografia**

GERTLER, J. J. Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems. New York, NY, USA, Marcel Deckker, Inc., 1998 (G).

PATTON, R.; FRANK, P. M.; CLARK, R. N. (eds.) Fault Diagnosis in Dynamic Systems. London, UK, Prentice-Hall, 1989 (PFC).

PATTON, R.; FRANK, P.M.; CLARK, R.N. (eds.) Issues in Fault Diagnosis in Dynamic Systems. , UK, Springer-Verlag, 2000 (PFC).

LINKENS, D. A. (ed.) CAD for Control Systems. New York, NY, USA, Marcel Dekker, Inc., 1993 (L).

GOLDBERG, A.; RUBIN, K. S. Succeeding with Objects. Reading, MA, USA, Addison Wesley Pub. Co., 1995.(GR).

<b>CMC-321-3</b>	<b>Dinâmica Não Linear</b>
------------------	----------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Mario Cesar Ricci

Bifurcações elementares: exemplos de dependência de parâmetros; teorema das funções implícitas; perturbações locais próximas a pontos de equilíbrio. Caos: mapeamentos; sistemas contínuos no tempo; dobramento de período; intermitência; rotas quase-periódicas; crises; teoria de Melnikov e bifurcações de órbitas homoclínicas. Métodos Numéricos: métodos numéricos para cálculo de pontos de bifurcações; métodos numéricos para calcular ramos de soluções.

**Bibliografia:**

NAYFEH, A. H.; BALACHANDRAN, B. Applied Non-linear Dynamics. John Wiley & Sons, N.Y., 1995.  
VERHULST, F. Nonlinear Differential Equations and Dynamical Systems. Springer Verlag, Berlin, 1990.  
HALE, J.; KOÇAK, H. Dynamics and Bifurcations. Springer Verlag, N.Y., 1991.  
GUCKENHEIMER, J.; HOLMES, P. Nonlinear Oscillations Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields. Springer Verlag, N.Y., 1983.  
POSTON, T.; STEWART, I. Catastrophe Theory and Its Applications. Dover, N.Y., 1978.  
MAREK, M.; SCHREIBER, I. Chaotic Behaviour of Deterministic Dissipative Systems. Cambridge University Press, UK, 1991.  
BAKER, G. L.; GOLLUB, J. P. Chaotic Dynamics an introduction. Cambridge University Press, UK, 1990.

<b>CMC-322-4</b>	<b>Robótica</b>
------------------	-----------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-205-4 e CMC-201-4 ou equivalentes

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Ijar Milagre da Fonseca

Fundamentos da Robótica. Posição, orientação no espaço e sistemas de referência. Cinemática de Manipuladores. Cinemática Inversa de Manipuladores Robóticos. Dinâmica e Controle de Manipuladores Robóticos. Automação & Operações Humanas no Espaço. Fundamentos de Telerobótica. Planejamento de Trajetórias de Manipuladores Espaciais. Estabilidade e Controle de Manipuladores Robóticos Espaciais. Uma Visão Geral de Dinâmica e Controle de Manipuladores Robóticos Espaciais.

**Bibliografia**

CRAIG, J. J. Introduction to Robotics - Mechanics and Control. Addison Wesley, Second Edition, 1989.  
ADADE FILHO, A. Fundamentos de Robótica - Cinemática Dinâmica e Controle de Manipuladores Robóticos. CTA-ITA-IEEP, São José dos Campos, S.P., 2001  
SKAAR, S. B.; RUOFF, C. F. Teleoperation and Robotics in Space. Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA, Vol. 181, 1994  
ROSÁRIO, J. M. Princípios de Mecatrônica. Pearson Prentice Hall, 2005

<b>CMC-327-3</b>	<b>Introdução à Programação Gráfica com OpenGL</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-325-3 ou equivalente

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Valdemir Carrara

Introdução ao OpenGL. O pipe-line de placas gráficas. Funções gráficas bidimensionais. Curvas e superfícies. Projeção paralela e em perspectiva. Funções de configuração do OpenGL. Funções de inicialização: Glu, Glut e Glx. Funções para modelagem de objetos euclidianos. Funções para ajuste de cores e iluminação. Funções para aplicação de texturas. Mapeamento de ambiente e de corcovas. Funções de retorno de configuração. Algoritmos para sombra. Dinâmica de movimentos e animação. Recursos de pixel e vertex shader. Introdução aos Engines e pacotes de simulação.

**Bibliografia**

SHREINER, D.; WOO, M.; NEIDER, J.; DAVIS, T. OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL. Version 1.4, Fourth Edition. Addison-Wesley Professional, 2003.

WRIGHT, R. S.; LIPCHAK, B. OpenGL SuperBible. 3rd Edition. Sams, 2004.

<b>CMC-335-4</b>	<b>Simulação de Sistemas Dinâmicos</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Waldemar de Castro Leite Filho

Conceituação de simulação e modelagem. Modelo físico e modelo matemático – técnicas de modelagem. Sistemas contínuos. Sistemas discretos. Estudo de métodos de integração numérica e programação da solução do modelo matemático. Construção, validação e teste de modelos. Noções sobre simulação híbrida e em tempo real. Geração de números e variáveis aleatórias. Simulação de Monte-Carlo. Problemas especiais: retardo, descontinuidade e variância no tempo.

**Bibliografia**

BENNET, B. S. Simulation Fundamentals. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-hall, 1995.

DOEBELIN, E. O. System Modeling and Response: Theoretical and Experimental Approaches. New York, NY, USA, John Wiley, 1980. KOCHENBURGER, R. J. Computer Simulation of Dynamic Systems. Prentice-Hall, 1972.

LAW, A.M; KELTON, W. D. Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill, 1982.

LEIGH, J. R. Modeling and Simulation. Peter Peregrinus, 1983.

NAYLOR, T. H. et all. Técnicas de Simulação em Computadores. Ed. Vozes, 1971.

ROSKO, J. S. Digital Simulation of Physical Systems. Reading, MA, USA, Addison Wesley, 1972.

SEINFELD, J. H.; LAPIDUS, L. Process Modeling, Estimation and Identification. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice-Hall, 1985. SHANNON, R. Systems Simulation: The Art and Science. Prentice-Hall, 1975.

SMITH, J. M. Mathematical Modeling & Digital Simulation for Engineers & Scientists. John Wiley, 1977.

ZEIGLER, B. P.; PRAEHOVER, H.; KIM, T. G. Theory of Modeling and Simulation, 2<sup>nd</sup> Ed., Academic Press, 2000.



<b>CMC-336-4</b>	<b>Máquinas Elétricas de Corrente Contínua sem Escovas com Ímãs Permanentes</b>
------------------	---

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** não há

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Mario Cesar Ricci

Máquinas de ímãs permanentes: ímãs permanentes, arranjos de IPs, magnetização de IPs, máquinas CA, máquinas síncronas, perdas no núcleo, perdas resistivas, “cooging”, vibração e ruído. Inversores e controle: dispositivos de potência, fonte CC, conversão CC/CA, potências real e reativa, PWM, fator de potência, operação em quatro quadrantes, requisitos de conversão. Máquinas CC sem escovas: modelagem, simulação, comutação, oscilação, avanço de fase, meia-onda, controladores de corrente e de velocidade, controle sem sensores.

**Bibliografia**

KRISHNAN, R. Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives. CRC Press, 1<sup>st</sup> Ed., 2009.  
 KRISHNAN, R. Electric Motor Drives: Modeling, Analysis, and Control. Prentice Hall, 1<sup>st</sup> Ed. 2001.  
 GIERAS, J. F. Permanent Magnet Motor Technology: Design and Applications. CRC Press, 3<sup>rd</sup> Ed. 2009.  
 KRAUSE, P. C.; WASYNCZUK, O.; SUDHOFF, S. D. Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. Wiley-IEEE Press, 2<sup>nd</sup> Ed. 2002

<b>CMC-400-2</b>	<b>Tópicos Especiais em Dinâmica de Órbita e Atitude</b>
------------------	--

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-200-3 ou equivalente

***Carga horária:*** 30 horas

***Professor responsável:*** Hélio Koiti Kuga

Abordam-se tópicos avançados em Dinâmica de Órbita e Atitude. Conteúdo variado, de acordo com o interesse do momento.

**Bibliografia**

Artigos de revistas especializadas nos temas tratados.

<b>CMC-401-2</b>	<b>Tópicos Especiais em Controle Não Linear</b>
------------------	---

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-201-4 ou equivalente

***Carga horária:*** 30 horas

***Professor responsável:*** Luiz Carlos Gadelha de Souza

Abordam-se tópicos avançados em Controle não Linear. Conteúdo variado, de acordo com o interesse do momento.

**Bibliografia**

Artigos de revistas especializadas nos temas tratados.

<b>CMC-402-2</b>	<b>Tópicos Especiais da Teoria da Estimação</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-201-4, CMC-306-4 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Hélio Koiti Kuga

Abordam-se tópicos avançados em Teoria da Estimação. Conteúdo variado, de acordo com o interesse do momento.

**Bibliografia**

Artigos de revistas especializadas nos temas tratados.

<b>CMC-404-4</b>	<b>Entrada Planetária II</b>
------------------	------------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-304-3 e CMC-314-4 ou equivalentes

**Carga horária:** 60 horas

Construção de teorias. Teorias clássicas de Loh, Chapman e Yaroshevsky. Soluções analíticas de ordem superior à segunda. Uso de perturbações regulares. Tópicos avançados: estabilidade e guiagem; interação da dinâmica de reentrada com efeitos devidos a flexibilidade e vibrações; interação aerodinâmica versus precisão de apontamento; trajetórias ótimas; *skips* múltiplos. Influência do modelo gravitacional. Tópicos de interesse corrente e aplicações às missões nacionais conforme o tempo permita.

**Bibliografia**

VINH, N. X.; BUSEMANN, A.; CULP, R. D. Hypersonic and Planetary Entry Flight Mechanics. Ann Arbor, MI, The University of Michigan Press, 1980.

YAROSHEVSKY, V. A. Reentrada de Veículos Espaciais (em Russo). Moscow, Federação Russa, Nauka, 1988.

REGAN, F. J.; ANANDAKRISHNAN, S. M. Dynamics of Atmospheric Re-Entry. Washington, DC, AIAA Education Series, AIAA, 1993.

LOH, W. H. T. Dynamics and Thermodynamics of Planetary Entry. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1963.

LOH, W. H. T. (ed.) Re-Entry and Planetary Entry Physics and Technology. Vol I & II, New York, NY, Springer-Verlag, 1968.

<b>CMC-405-4</b>	<b>Estabilidade II</b>
------------------	------------------------

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-407-4 ou CMC-401 e CMC-315-3 ou equivalentes

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Mario Cesar Ricci

Existência e unicidade de soluções. Soluções periódicas e quase-periódicas. Números de rotação. Perturbações regulares versus perturbações singulares. Estabilidade estrutural. O problema de Letov-Lur'e, as conjecturas de Aizerman Kalman e Narendra e o critério de Popov revisitados. Bifurcações. Estabilidade de sistemas multi-variáveis. Critério de Nyquist generalizado. Hiperestabilidade. Funcionais de Lyapunov para equações diferenciais parciais.

## **Bibliografia**

- PARKS, P. C.; HAHN, V. Stability Theory. London, UK, Prentice-Hall International, 1993.
- GUCKENHEIMER, J.; HOLMES, P. Nonlinear Oscillations Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields. New York, NY, Springer-Verlag, 1983.
- HALE, J. K.; KOCAK, H. Dynamics and Bifurcations. New York, NY, Springer-Verlag, 1991.
- HIRSCH, M. W.; SMALE, S. Differential Equations, Dynamical Systems and Linear Algebra. New York, NY, Academic Press, 1974.
- CODDINGTON, E. A.; LEVINSON, N. Theory of Ordinary Differential Equations. New York, NY, McGraw-Hill, 1955.
- POPOV, V. M. Hyperstability of Control Systems. New York, NY, Springer-Verlag, 1973.
- HAHN, W. Stability of Motion. New York, NY, Springer-Verlag, 1967.
- PONTRYAGIN, L. S. Ordinary Differential Equations. Reading, MA, Addison-Wesley, 1962.
- LA SALLE, J.; LEFSCHETZ, S. Stability by Lyapunov's Direct Methods. New York, NY, Academic Press, 1961.
- LYAPUNOV, A. M. Stability of Motion. New York, NY, Academic Press, 1966.
- MINORSKY, N. Nonlinear Oscillations. New York, NY, Van Nostrand, 1962.

<b>CMC-407-4</b>	<b>Teoria Geométrica das Equações Diferenciais Ordinárias I</b>
------------------	---

### ***Eletiva***

***Pré-requisito:*** não há

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Histórico, motivação e equações clássicas: van der Pol, Duffing, Mathieu, Hill, etc. O plano de fase e equações diferenciais de segunda ordem. Diagrama de fase para a equação do pêndulo. Equações autônomas. Sistemas conservativos. O oscilador linear amortecido. Amortecimento não-linear. Algumas aplicações. Sistemas conservativos dependentes de parâmetros. Sistemas de primeira ordem em duas variáveis e linearização. O plano de fase geral. Aproximações lineares em torno de pontos de equilíbrio. Solução geral de um sistema linear. Classificação dos pontos de equilíbrio. Construção de diagramas de fase. Transições entre pontos de equilíbrio de tipos diversos. Aspectos geométricos e computacionais do diagrama de fase: o índice de um ponto. O índice no infinito. O diagrama de fase no infinito. Ciclos-limite e outras trajetórias fechadas. Computação do diagrama de fase. Existência de soluções periódicas: o teorema de Poincaré-Bendixson. Teoremas sobre a existência de centros e ciclos-limite. A equação de van der Pol com um parâmetro grande. Estabilidade: Poincaré e Lyapunov. Estabilidade e limitação de sistemas lineares. Estrutura das soluções de sistemas lineares n-dimensionais. Estabilidade de sistemas com coeficientes constantes. Noções de perturbações: o teorema de expansão de Poincaré. Bifurcações e estabilidade estrutural. A dobra e a cúspide. Bifurcações de Hopf. Mapas de Poincaré. Caos e atratores estranhos. Bifurcação homoclínica. Sistemas Hamiltonianos. Toros invariantes e caos. O lema de Moser. O teorema de Kolmogorov-Arnol'd-Moser.

## **Bibliografia**

- JORDAN, D. W.; SMITH, P. Nonlinear Ordinary Differential Equations, 2nd ed. Oxford, UK, Clarendon, 1987.
- VERHULST, F. Nonlinear Differential Equations and Dynamical Systems, Berlin, Springer-Verlag, 1990.
- GUCKENHEIMER, J.; HOLMES, P. Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields. New York, NY, Springer-Verlag, 1983.

HALE, J.K.; KOCAK, H. Dynamics and Bifurcations. New York, NY, Springer-Verlag, 1991.  
 HIRSCH, M. W.; SMALE, S. Differential Equations, Dynamical Systems and Linear Algebra. New York, NY, Academic Press, 1974.  
 CODDINGTON, E. A.; LEVINSON, N. Theory of Ordinary Differential Equations. New York, NY, McGraw-Hill, 1955.  
 MINORSKY, N. Nonlinear Oscillations. New York, NY, Van Nostrand, 1962.

<b>CMC-408-4</b>	<b>Teoria Geométrica das Equações Diferenciais Ordinárias II</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-407-4 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Conceitos básicos: espaços de fase e fluxos de fase. Exemplos de processos evolutivos. Fluxos de fase. Difeomorfismos. Campos vetoriais. O problema básico da teoria de EDO's. Campos vetoriais sobre a reta real. Soluções de EDO's e curvas integrais. Existência, unicidade e determinação da solução de uma EDO. Falha na unicidade. Lema de comparação. Fluxos de fase na reta real. Grupos de transformações lineares com um parâmetro. A equação diferencial de um grupo a um parâmetro. Forma geral dos grupos de transformações lineares com um parâmetro na reta real. Um exemplo não-linear e um contra-exemplo. Condições para a existência dum fluxo de fase. Campos vetoriais e fluxos de fase no plano real. Produtos diretos. Grupos de transformações lineares com um parâmetro no plano real. Equações não-autônomas. Equações com variáveis separáveis. Equações com coeficientes variáveis. Vetor tangente e o espaço tangente. A derivada de um mapeamento. Teorema da função inversa. Ação de um difeomorfismo sobre um campo vetorial. O campo vetorial próximo de um ponto não-singular. O teorema básico da teoria das EDO's. Existência e unicidade local. Fluxos de fase locais. Dependência contínua e diferenciabilidade em relação a um parâmetro. O teorema de extensão. Aplicações ao caso não-autônomo e a equações de ordem superior.

**Bibliografia**

ARNOLD, V. I. Ordinary Differential Equations. Cambridge, MA, The MIT Press, 1973.  
 ARNOLD, V. I. Geometric Methods in the Theory of Ordinary Differential Equations. New York, NY, Springer-Verlag, 1982(3?).  
 MUNKRES, J. R. Topology: A First Course, 1st ed. New York, NY, Prentice-Hall, 1974, 2nd ed. 1985.  
 JORDAN, D. W.; SMITH, P. Nonlinear Ordinary Differential Equations, 2nd ed. Oxford, UK, Clarendon, 1987.  
 VERHULST, F. Nonlinear Differential Equations and Dynamical Systems, Berlin, Springer-Verlag, 1990.  
 HIRSCH, M. W.; SMALE, S. Differential Equations, Dynamical Systems and Linear Algebra. New York, NY, Academic Press, 1974.  
 CODDINGTON, E. A.; LEVINSON, N. Theory of Ordinary Differential Equations. New York, NY, McGraw-Hill, 1955.  
 HALE, J. K. Ordinary Differential Equations. New York, NY, Wiley, 1969.  
 PONTRYAGIN, L. S. Ordinary Differential Equations. Reading, MA, Addison-Wesley, 1962.  
 LEFSCHETZ, S. Differential Equations: Geometric Theory, 2nd ed. New York, NY, (Wiley) Interscience Publishers, 1963. Republicado por Dover, New York, NY, 1977.  
 PALIS, J.; MELO, W. Geometric Theory of Dynamical Systems: An Introduction. New York, NY, Springer-Verlag, 1982.  
 MINORSKY, N. Nonlinear Oscillations. New York, NY, Van Nostrand, 1962.

<b>CMC-409-4</b>	<b>Sistemas de Controle Térmico de Veículos Espaciais</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Valeri Vlassov Vladimirovich

Objetivos do sistema de controle térmico de naves espaciais. Descrição espectral do ambiente térmico espacial. Incertezas e variações da constante solar. Modelo de duas bandas. Propriedades óticas de superfícies especiais. Conceito de emissividade no espectro infravermelho a absorvidade no espectro solar. Balanço térmico de uma estrutura no espaço no modo de um grafo. Modelos analíticos simplificados e transientes. Fator de insolação. Modelos de fluxos espectrais com reflexões da Terra e de estrutura. Cálculo de fator de forma e acoplamentos radiativos. Método de Gilbhard. Soluções de problemas com trocas radiativas e condutivas acopladas. Formulação do método nodal. Utilização do softwares de análises térmica PCTER, SINDA e outros. Classificação de medidas de controle térmico. Classificação de dispositivos e sistemas. Superfícies seletivas e fatores de degradação. Superisolantes multi camadas (MLI): otimização de efetividade, modelos térmicos anisotrópicos. Capacitor térmico com mudança de fases. Tubos de calor: Fundamentos de operação, Modelos do Chi e do Marcus, classificação. Radiadores espaciais: desenhos, otimização de massa. circuitos e sistemas com bombeamento mecânico: modelos hidráulicos - térmicos, métodos de análise de circuitos hidráulicos, análise dos métodos de controle. Circuitos com bombeamento capilar: fundamentos de operação, instabilidade, métodos de controle passivos ou ativos. Sistemas e dispositivos criogênicos; cryocoolers, elementos de Petier.

**Bibliografia**

GILMORE, D. G. Satellite Thermal Control Handbook, El Segundo, CA, The Aerospace Corporation Press, 1994.

KARAM, R. Satellite Thermal Control for Systems Engineers. Progress in Astronautics and Aeronautics, 1998, 286 pp, ISBN 1-56347-276-7.

SPARROW, E. M., CESS, R. D. Radiation Heat Transfer. New York, McGraw-Hill, 1978.

HOTTEL, H. C.; SAROFIN, A. F. Radiative Transfer. New York, McGraw Hill, 1967.

MURAOKA, I. Análise Térmica em Regime Permanente para Satélites. Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial. INPE, São José dos Campos, 1986.

LEITE, R. M. G. Modelagem das Cargas Térmicas Incidentes nos Painéis do Primeiro Satélite Brasileiro. Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial. INPE, São José dos Campos, 1986.

<b>CMC-410-3</b>	<b>Métodos de Simulação Térmica Espacial</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

Ambiente espacial; condições ambientais térmicas e de vácuo. Objetivos; modelo matemático; simulação numérica; teste de balanço térmico; teste vácuo-térmico. Simulação; vácuo; espaço como sumidouro de calor; radiação solar e planetária. Equilíbrio térmico do satélite. Facilidades de testes vácuo-térmicos; câmaras vácuo-térmicas e climáticas; detetores de fuga; monitoramento de vácuo e contaminação. Simulação Solar; requisitos; câmaras e subsistemas. Simulação Infra-Vermelha; 'skin-heaters'; placas aquecedoras; 'infrared array'; lâmpadas; radiômetros; comparação entre as técnicas; Comparação entre a Simulação Solar e Infravermelha. Processos de Contaminação e "Degasagem".

## **Bibliografia**

- GILMORE, D. G. Satellite Thermal Control Handbook. American Institute of Aeronautics, The Aerospace Corporation Press, El Segundo, CA, Dec. 1994
- AGRAWAL, B. N. Design Of Geosynchronous Spacecraft. Prentice- Hall, Inc., Englewood Cliffs – NJ, 1986.
- VARIAN. Introduction to Helium Mass Spectrometer Leak Detection Varian Associates, Inc. Palo Alto. USA. 1980.
- NUSS, H. N. Space Simulation Technique for Spacecraft Apostila. LIT/INPE. 1996
- MUIR, B. Development of Spacecraft Thermal Design Verification Procedures using Infrared Thermal Vacuum Techniques and Mathematical Modeling Final Report. Spar Aerospace Limited Quebec. 1984
- FRIED, L. Infrared IR Method of Thermal Balance Testing of Spacecraft Final Report. Lockheed Missiles & Space Company. Palo Alto. USA. 1981.

<b>CMC-411-4</b>	<b>Órbitas Periódicas e Quase periódicas no Problema de Três Corpos</b>
------------------	---

### ***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-200-3 ou equivalente

***Carga horária:*** 60 horas

Elementos de Equações Diferenciais Ordinárias: Sistemas de Primeira e Segunda Ordem, Linearização e Pontos de Equilíbrio, Solução Geral do Sistema Linear, Classificação de Pontos de Equilíbrio, Diagramas de Fase, Transição entre Tipos de Equilíbrio, Sistemas Não Lineais: Estabilidade de Soluções, Equações com Coeficientes Periódicos: Teoria de Floquet, Famílias Monoparamétricas de Orbitas Periódicas, Método de Continuação Analítica.

Noções Básicas de Teoria de Perturbações: Métodos de Média, Método de Lindstedt-Poincaré, Método das Escalas de Tempo Múltiplas.

Conceitos de Teoria de Bifurcação: Teoria Linear em Fluxos e Mapas, Teoria Não Linear, Formas Normais e Sistemas Hamiltonianos, Teorema de Poincaré-Birkhoff, Bifurcações Sela-Nodo, Transcríticas, Pitchfork e Hopf, Redução à Variedade Central.

O Problema Restrito de Três Corpos: O Problema Circular vs. Elíptico, Pontos de Libração e suas Perturbações, Modelos e Equações de Movimento, Orbitas Periódicas: Famílias de Copenhague, Hénon, etc. Orbitas Ao Redor dos Pontos de Equilíbrio.

Órbitas Halo e Lissajous: Existência de Soluções, Determinação de Orbitas: Métodos Numéricos e Analíticos, Método de Lindstedt-Poincaré e Continuação Analítica, Famílias de Orbitas Halo, Ressonâncias, Controle e Manutenção das Órbitas, Transferência entre Orbitas de uma Mesma Família.

## **Bibliografia**

- AMDREU, M. A. The Quasi-Bicircular Problem. Tese de Doutorado. 1998.
- CRAWFORD, J. D. Introduction to Bifurcation Theory. Reviews of Modern Physics, 63(4), p. 991-1037, 1991.
- JORDAN, D. W.; Smith, P. "Nonlinear Ordinary Differential Equations. Clarendon Press, Oxford, 1991.
- McCAULEY, J. L. An Introduction to Nonlinear Dynamics and Chaos Theory. Physical Scripta, 20, p. 5-56, 1988.
- MOSER, J. K. Lectures on Hamiltonian Systems. Reprint, 1967.
- SZEBEHELY, V. Theory of Orbits. Academic Press, New York, 1967.
- GOMEZ, G.; MASDEMONT, J. Libration Point Orbits: The State of the Art from the Dynamical Systems Approach. Preprint. 2000.
- Artigos de revistas especializadas nos temas tratados.

<b>CMC-412-3</b>	<b>Tubos de Calor e Sistemas com Bombeamento Capilar</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Valeri Vlassov Vladimirovich

Meios porosos. Capacidade de molhar. Tensão superficial e pressão capilar. Termodinâmica de gota. Escoamento, evaporação e condensação em estruturas porosas. Transferência de calor. Formação de bolhas. Equação de Clausius-Clapeyron. Classificação dos tipos de estruturas porosas. Tubos de calor. Características gerais. Balanço térmico. Modelos hidráulicos. Limites de operação. Modelos de fluxo de vapor. Problemas de partida e re-partida. Malhas compostas. Tubos arteriais. Micro- tubos para eletrônica. Modelos matemáticos. Tubos de condutância variável. Modelos de fronteira plana e de difusão. Tipos de reservatórios de gás não-condensável. Limites de aplicações. Outros dispositivos bi-fásicos. Circuitos com bombeamento capilar ("Capillary Pumped Loops - CPL and Loop Heta Pipes -LHP"). Problemas e tipos de controle. Distribuição de fases e problemas de separação. Métodos de controle de partida. Sistemas bi-fásicos.

**Bibliografia**

BIENERT, W.B.; SKRABEK, E.A. Heat Pipe Design Handbook. Parts 1,2. Dynatherm Corp., Cockeysville. NASA-CR-134264, USA ,1972.  
MARCUS, B.D. Theory and Design of Variable Conductance Heat Pipes. TRW Systems Group. NASA CR-2018, USA, 1972.  
CHI, S.W. Heat Pipe Theory and Practice. Hemisphere Publishing Corporation, Washington D.C., 1976.  
DUNN, P.; REAY D. A. Heat Pipes. Pergamon Press Ltd., Oxford, 1976.  
IVANOVSKII, M.N.; SOROKIN, V.,P.; YAGODKIN I. V. The Physical Principles of Heat Pipes. Claredon Press, Oxford, 1982.

<b>CMC-414-3</b>	<b>Teoria da Elasticidade e Princípios Variacionais</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Ijar Milagre da Fonseca

Tensores cartesianos. Tensores de tensão e de deformação. Lei de Hooke generalizada. Equações da elasticidade. Trabalho virtual. Princípio dos trabalhos virtuais e Princípio dos trabalhos virtuais complementares. Inclusão de restrições. Equação de Euler. Princípios de Reissner, Hamilton e outros. Método de Ritz. Métodos da função peso.

**Bibliografia**

FREDERICK, D; CHANG, T. S. Continuum Mechanics. Scientific Publisher, Cambridge, MA, 1972.  
REDDY, J. N. Energy and Variational Methods in Applied Mechanics. John Wiley, New York, NY, 1984.  
BISMARCK-NARS, M. N. Finite Elements in Applied Mechanics. São José dos Campos, SP, 1993.

**Eletiva****Pré-requisito:** CMC-318-4 ou equivalente**Carga horária:** 60 horas**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Introdução aos controladores e ao controle por computador. Origens e breve história dos controladores e do controle por computador ("fly-by-wire", etc.). Os elementos de um sistema de controle por computador. Noções e tipos de controladores: de sistemas e de processos, em tempo/evento contínuo ou discreto; com grandezas ou sinais lógicos (CLPs), analógicos, discretos ou digitais; etc. Noções de controle por computador: controle digital direto, controle sequencial/por eventos, controle supervisorio, etc. Arquiteturas de controle: localizada, distribuída, inteligente, mista, etc. Métodos e ações de controle: lógica, P, PI, PID, não lineares, adaptativos, nebulosos, etc. Computação lógica, analógica ou digital. Ambientes de desenvolvimento, linguagens de programação e sistemas operacionais correspondentes (CACSD). Características essenciais ou desejáveis. Operação em tempos virtual ou real; batelada ou iterativa; interfaces amigáveis ou visuais; orientação a objetos, conversão de linguagens; geração de códigos, etc. Requisitos de pontualidade, simultaneidade, previsibilidade, confiabilidade, agendamento, interrupção, reentrância, preemptividade, etc. Noções de: especificações e métricas, análise e projeto, arquitetura e hardware, comunicação e interfaces, tolerância a falhas. Verificação, validação e certificação de controladores e de controles por computador. Estudo de casos.

**Bibliografia**

- BENNET, S.; LINKENS, D. A. (eds.) Real-Time Computer Control. Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1984.
- BURNS, A.; WELLINGS, A. Real Time Systems and Their Programming Languages. Addison-Wesley, Reading, MA, 1990.
- FURHT, B.; GROSTICK, D.; GLUCH, D.; RABBAT, G.; PARKER, J.; MCROBERTS, M. Real-Time UNIX Systems: Design and Application Guide. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1991.
- LINKENS, D. A. (ed.) CAD for Control Systems. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA, 1993.
- SHIN, K. G.; KRISHNA, C. M. Characterization of Real-Time Computers. (ASA CR 3807. Washington D.C., NASA, 1984.
- STANKOVIC, J. A.; RAMAMRITHAM, K. Hard Real-Time Systems. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1988.
- HALANG, W. A.; STOYENKO, A. D. Constructing Predictable Real-Time Systems. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1991.
- KAVI, K. M. (ed.) Real-Time Systems: Abstractions, Languages and Design Methodologies. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1992.
- KRISHNA, C. M.; LEE, Y. H. (eds.) Special Issue on Real-Time Systems. Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No.1, January 1994.
- FARINES, J. M.; FRAGA, J. S.; OLIVEIRA, R. S. Sistemas de Tempo Real. IME-USP, São Paulo, SP, BR, 2000.
- GOLDBERG, A.; RUBIN, K. S. Succeeding with Objects. Addison Wesley Pub. Co., Reading, MA, USA, 1995.
- MARTIN, J. Programming Real-Time Computer Systems. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1965.
- MEDIN, A. L.; DAHMANN, J. HLA Rules. Department of Defense, DMSO, Washington D.C., 1999.
- MEDIN, A. L.; DAHMANN, J. HLA Interface Specification. Department of Defense, DMSO, Washington D.C., 1999.
- MEDIN, A. L., DAHMANN, J. Object Model Template Specification. Department of Defense, DMSO, Washington D.C., 1999.



GRANTHAM, C.; WILL, R. A Real-Time Space-Station Dynamics and Control System Simulation. NASA, (NASA TND-6449), Washington D.C., 1971.

<b>CMC-422-4</b>	<b>Projeto de Sistemas de Controle Multivariáveis II</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-311-2 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Luiz Carlos Gadelha de Souza

Definição de normas para sinais e sistemas. Propriedades de um sistema multivariável com realimentação. Estabilidade interna. Desempenho. Caracterização de incerteza para a planta, atuador e sensor de um sistema de controle. Robustez associada ao desempenho de um sistema. Estabilização e vínculos devido à presença de incertezas em um sistema. Projeto de um sistema de controle baseado nas técnicas de “Loopshaping” e “Model Matching”. Otimização com margem de estabilidade e Robustez no desempenho.

**Bibliografia**

DOYLE, J. C.; FRANCIS, B. A.; TANNENBAUM, A. R. Feedback Control Theory. Macmillan, 1992.

ANDERSON, B. D.; MOORE, J. B. Optimal Control – Linear Quadratic Methods. Prentice-Hall, 1989.

SKELTON, R. E. Dynamic System Control – Linear Systems Analysis and Synthesis. Wie-Wiley, 1988.

MORARI, M.; ZAFIRIOU, E. Robust Process Control. Prentice-Hall, 1989.

<b>CMC-423-4</b>	<b>Dinâmica e Controle de Estruturas Flexíveis</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-202-4 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Luiz Carlos Gadelha de Souza

Computação e Álgebra de Matrizes. Estabilidade no Sentido de Lyapunov. Modelamento Matemático de Estruturas Flexíveis. Projeto de Sistemas de Controle para Estruturas Flexíveis baseados no Controle Linear Ótimo e no “Robust Eigenstructure Assignment”. Controlabilidade e Observabilidade para sistemas dinâmicos de dimensão Finita. Aplicações.

**Bibliografia**

JUNKINS, J. L.; KIM, Y. Introduction to Dynamics and Control of Flexible Structures. AIAA Education Series. 1993.

SHABANA, A. A. Dynamics of Multibody Systems. John Wiley & Sons. 1989.

WIE, B. Space Vehicle Dynamics and Control. AIAA Education Series. 1998.

<b>CMC-424-4</b>	<b>Controle e Integração/Testes (VVA) em Tempos Virtual e Real</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-308-4 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Introdução à integração, testes e aceitação de controles e controladores para operar em tempos virtual e real. Origens e breve história da integração, testes e aceitação

de controles e dos controladores por computador. A evolução dos conceitos e das normas. Métodos e linguagens de especificação informais, estruturadas, e formais que viabilizem a procura, integração, testes, aceitação visando a verificação, validação e a certificação ("Verification, Validation, Accreditation"-VVA) de controles e controladores por computador. Exemplos destes. Princípios, métodos e técnicas de VVA exaustivos, amostrados, teóricos, experimentais, etc. Análise dos Modos de Falha e de seus Efeitos-FMEA, Ciclos, revisões (preliminar, crítica, etc.) e documentações de projeto. Ensaios (em laboratório, bancos de testes, em vôo, etc.). Arquiteturas e princípios para aplicações em tempo real ("soft", "firm", "hard") e em vários níveis de criticalidade ("operation critical", "mission critical", "vehicle critical", "safety-critical", "life-critical", etc.). Ambientes de integração e testes. Características essenciais ou desejáveis. Operação em tempos virtual ou real; batelada ou iterativa; interfaces amigáveis ou visuais; orientação a objetos, geração de testes e relatórios, etc. Requisitos de previsibilidade, confiabilidade, segurança, ("safety" e "security"), tolerância a falhas, testabilidade, usabilidade, reusabilidade, manutenção, conectividade, portabilidade, simultaneidade, etc. Noções de: especificações e métricas. Normas e níveis de VVA. Fontes, natureza, níveis e objeto das normas do DoD/DMSO, NASA, FAA, JAA, IEEE, CCITT, CTA, etc. VVA de controladores e de controles por computador. Estudo de casos.

### **Bibliografia**

- BENNET, S.; LINKENS, D. A. (eds.) Real-Time Computer Control. Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1984.
- STANKOVIC, J. A.; RAMAMRITHAM, K. Hard Real-Time Systems. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1988.
- HALANG, W. A.; STOYENKO, A. D. Constructing Predictable Real-Time Systems. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1991.
- KAVI, K. M. (ed.) Real-Time Systems: Abstractions, Languages and Design Methodologies. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1992.
- PERRY, W. Effective Methods for Software Testing. 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 2000.
- BURNS, A.; WELLINGS, A. Real Time Systems and Their Programming Languages. Addison-Wesley, Reading, MA, 1990.
- FURHT, B.; GROSTICK, D.; GLUCH, D.; RABBAT, G.; PARKER, J.; MCROBERTS, M. Real-Time UNIX Systems: Design and Application Guide. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1991.
- KRISHNA, C.M.; LEE, Y. H. (eds.) Special Issue on Real-Time Systems. Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No.1, January 1994.
- SHIN, K. G.; KRISHNA, C. M. Characterization of Real-Time Computers. NASA CR 3807, NASA, Washington D.C., 1984.
- LINKENS, D. A. (ed.) CAD for Control Systems. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA, 1993.
- MEDIN, A. L., DAHMANN, J. HLA Rules. Department of Defense, DMSO, Washington D.C., 1999.
- MEDIN, A. L.; DAHMANN, J. HLA Interface Specification. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.
- MEDIN, A. L.; DAHMANN, J. Object Model Template Specification. Washington D.C., Department of Defense, DMSO, 1999.
- DEPARTMENT OF DEFENSE. DoD VV&A Recommended Practice Guide. Department of Defense, DMSO, Washington D.C., 2000.

<b>CMC-425-4</b>	<b>Transferência de Calor em Escoamentos Bifásicos</b>
------------------	--

***Eletiva***

***Pré-requisito:*** não há

***Carga horária:*** 60 horas

***Professor responsável:*** Roger Ribeiro Riehl

Introdução; Revisão de Termodinâmica e Transferência de Calor; Nucleação e Crescimento de Bolhas / Dinâmica; Ebulição em Vasos Confinados; Tensão Interfacial/Molhabilidade; Ângulo de Contato/Transporte Interfacial; Modelos de Escoamento Bifásico; Mapas de Escoamento; Ebulição Sub-resfriada e Saturada; Fluxo Crítico de Calor; Escoamentos Críticos; Condensação.

### **Bibliografia**

CAREY, V. P. Liquid-Vapor Phase-Change Phenomena. Taylor & Francis, 1992.  
COLLIER, J. G. Convective Boiling and Condensation. McGraw Hill, 1981.  
WALLIS, G. B. One-Dimensional Two-Phase Flow. McGraw Hill, 1969.  
TONG, L. S.; TANG, Y.S. Boiling Heat Transfer and Two-Phase Flow. Taylor & Francis, 1997.

<b>CMC-427-4</b>	<b>Cibernética e Inteligência Computacional em Teoria de Sistemas Dinâmicos Adaptativos e Complexos.</b>
------------------	--

### ***Eletiva***

***Pré-requisito:*** CMC-201-4 ou equivalente

***Carga horária:*** 60 horas

Esta disciplina engloba uma abordagem interdisciplinar de sistemas dinâmicos, computação inteligente aplicada à teoria de sistemas e sistemas complexos adaptativos. Para isto, serão estudados conceitos fundamentais de cibernética e a teoria e ciência de sistemas; história da cibernética de primeira ordem, segunda ordem, e a relação de estudos complexos; abordagem mecanicista relativas à engenharia de controle, realimentação e técnicas computacionais em cibernética; técnicas de computação inteligente em teoria de sistemas, em especial, redes neurais artificiais, sistemas difusos, algoritmos genéticos para controle, reconhecimento de padrões etc.; similaridades entre sistemas autônomos, sistemas vivos, auto-organização, cognição em modelagem de sistemas dinâmicos; estudo dos fundamentos e exploração da natureza da inteligência e como mecanismos de engenharia (sistemas, máquinas) podem manifestar inteligência; diferenças entre cibernética e inteligência artificial; origem da ciência cognitiva e mecanização da mente; relação entre pensamento humano, evolução física, biológica, cognitiva e social; estudo de aplicações dos conceitos de cibernética com ênfase na teoria e uso computacional em sistemas dinâmicos através de métodos de simulação e modelagem, análise de séries temporais e dinâmica determinística e caótica, otimização e processo de tomada de decisão e análise de risco; engloba ainda sistemas adaptativos complexos através de aprendizado e adaptação evolutiva, análise de estruturas complexas e redes; tecnologia cibernética.

### **Bibliografia**

ASHBY, W. R. Introduction to Cybernetics. Methuen, London, UK. 1956.  
HEYLIGHEN, F.; JOSLYN, C. Cybernetics and Second Order Cybernetics. in: Meyers, R. A. (ed.), Encyclopedia of Physical Science & Technology (3rd ed.), Vol. 4, Academic Press, New York, 2001, p. 155-170.  
FRANÇOIS, C. Systemics and Cybernetics in a Historical Perspective. 1999.  
BARNSELY, M. F. Fractals Everywhere. Academic Press, San Diego, 1988.  
BAYRAKTAR, B.A. et al (eds.) Education in Systems Science. Taylor and Francis, London, 1979.  
AULIN, A. V. Foundations of Mathematical System Dynamics. Pergamon, Oxford, 1989.  
ABRAHAM, R.; SHAW, C. Dynamics: the Geometry of Behavior. V. I-III, Ariel Press, 1985.  
ALAN, T.F.H.; STARR, T.B. Hierarchy: Perspective for Explaining Ecological Complexity. University of Chicago, Chicago, 1982.  
ANGYAL, A. Logic of Systems. Penguin, 1969.

ASHBY, R. Design for a Brain. Wiley, New York, 1952.  
Bellman, R. Adaptive Control Processes: A Guided Tour, Princeton U, Princeton, 1972.  
BELTRAMI, E. Mathematics for Dynamic Modeling. Academic Press, Orlando, 1987.  
CHECKLAND, P. Systems Thinking, Systems Practice. Wiley & Sons, New York, 1981.  
DE CHARDIN, T. The Phenomenon of Man. Harper and Row, New York, 1959.  
WINOGRAD, T.; FLORES, F. Understanding Computers And Cognition: A New Foundation for Design. Ablex Publishing Corporation, Norwood, New Jersey, 1986.  
Artigos de revistas especializadas nos temas tratados.

<b>CMC-428-3</b>	<b>Tecnologia de Projeto Térmico de Equipamentos Eletrônicos.</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Valeri Vlassov Vladimirovich

Introdução à transferência de calor por condução, convecção e radiação. Forma diferencial da Lei de Fourier e equação de condução. Aplicação em geometrias típicas. Resistência térmica de contato em pressão ambiente e em vácuo. Uso de materiais intermediantes. Propriedades térmicas de materiais típicos. Resistência de espalhamento de calor em placas. Uso de espalhadores e condutores térmicos. Convecção forçada, tipos de escoamento. Modelos analíticos de troca de calor para casos típicos. Resistências hidráulicas e ventuinhas. Convecção natural sobre componentes e placas. Eficiência de aletas, superfícies extensas e dissipadores. Resfriamento por radiação. Propriedades óticas. Fatores de forma de configurações típicas. Avaliação da contribuição de radiação no resfriamento de componentes. Dissipação de calor em componentes eletrônicos. Balanço de energia em sistemas. Analogia com circuitos elétricos. Cálculo de temperaturas de componentes eletrônicos para condições ambientais e em vácuo. Tipos de placa de circuito impresso (PCBs) e montagem de componentes. Condutividade térmica efetiva. Influência da temperatura na taxa de falha de componentes eletrônicos. Limites operacionais, temperatura “derating”. Problema de otimização da distribuição de componentes e áreas de montagem em PCBs. Empacotamento de PCBs em caixas eletrônicas. Interfaces mecânicas e térmicas. Convecção forçada e natural em caixas em condições de testes ambientais e em baixa pressão. Montagem de equipamentos eletrônicos sobre painéis de satélite. Modelamento matemático em regime transiente. Método nodal. Análise térmica de equipamentos eletrônicos. Controle de temperatura de componentes especiais com aquecedores e elementos de Peltier (TEC). Tipos de TEC, tipos de controle, peculiaridades de aplicação. Introdução aos tubos de calor. Aplicação de mini tubos para controle térmico de equipamentos eletrônicos. Espalhadores bifásicos. Testes de verificação, ambientais e termo-vácuo. Problema de analogia térmica em condições de testes e em vôo. Softwares de análise térmica para computadores pessoais. Tarefas e cálculos típicos no projeto preliminar de equipamentos eletrônicos. Verificações e medidas de temperatura. Projeto térmico final.

**Bibliografia**

DE SOUSA, F. L.; MURAOKA, I.; VLASSOV, V. V. Ciclo de Palestras Sobre Controle Térmico de Satélites. Apresentações (em CDROM). INPE-11246-PUD/138, 2004.  
GILMORE D. G. Satellite Thermal Control Handbook. The Aerospace Corporation Press, EI Segundo, California, 1994.  
INCROPERA, F. P.; WITT, D. P. Fundamentos de Transmissão de Calor e Massa. Tradução da 3ª edição americana, Ed. Guanabara Koogan S.A, RJ, 1992.  
HOLMAN, J. P. Transferência de Calor. MsGraw-Hill, SP, 1983.  
KARAM, R. D. Satellite Thermal Control for Systems Engineers. Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 181, AIAA Press, 1998.

KREITH, F. Princípios da Transmissão de Calor. Editora Edgard Blucher Ltda, 1977.  
REMSBURG, R. Thermal Design of Electronic Equipment. CRC Press LLC, 2001.

<b>CMC-429-4</b>	<b>Sistemas de Controle Reconfiguráveis</b>
------------------	---

**Eletiva**

**Pré-requisito:** CMC-212-3 ou equivalente

**Carga horária:** 60 horas

**Professor responsável:** Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

1) Introdução: sistemas de controle reconfiguráveis. Conceitos de adaptabilidade/reconfigurabilidade dinâmicas, extensibilidade, interoperabilidade, abertura, plataformas de controle abertas, etc. 2) As práticas correntes em configurações de sistemas de controle. 3) Limitações das práticas de projeto correntes. 4) Limitações do suporte pelas ferramentas comerciais correntes. 5) Projeto de plataformas de controle abertas. 6) Arquiteturas de camadas: superiores, de controle, e centrais. Arquiteturas IMA, IME, etc. 7) Comunicação priorizada baseada em eventos para reconfiguração dinâmica. 8) Agendadores dinâmicos e gerenciadores adaptativos de recursos. 9) Camadas de controle reconfiguráveis. 10) Camada genérica de controles híbridos. Gerenciamento de reconfiguração e reuso. 11) Um protótipo de plataforma de controle aberta. 12) Problemas práticos e estudo de casos.

**Bibliografia**

STANKOVIC, J. A.; RAMAMRITHAM, K. Hard Real-Time Systems. Los Alamitos, CA, IEEE Computer Society Press, 1988.

WILLS, L.; KANNAN, S.; SANDER, S.; GULER, M.; HECK, B.; PRASAD, J. V. R.; SCHRAGE, D.; VACHTSEVANOS, G. An Open Platform for Reconfigurable Control. IEEE Control Systems Magazine, June, 2001.

GRANTNER, J., FODOR, G. Fuzzy Logic Enabled Agent Architectures. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer Verlag, 2002.

FODOR, G.; JONSSON, L. ABB Promotes New Software Architecture for Flatness Control. Aluminium World Journal, Spring Edition, 2003.

OREIZY, P. Issues in modeling and analyzing dynamic software architectures. Proceedings of International Workshop Role of Software Architecture in Testing and Analysis, Marsala, Sicily, Italy, June 30/July 3, 1998. Available at <http://www.ics.uci.edu/~djr/rosatea/>

VACHTSEVANOS, G. Hierarchical control. in *Handbook of Fuzzy Computation*, by E. Ruspini, P. Bonissone, and W. Pedrycz, Eds. Philadelphia, PA: Institute of Physics Publishing, 1998, pp. F 2.2:42-53

<b>CMC-430-3</b>	<b>Planejamento e análise de missões espaciais</b>
------------------	--

**Eletiva**

**Pré-requisitos:** não há

**Carga horária:** 45 horas

**Professor responsável:** Valdemir Carrara

Características dos satélites. Objetivos da missão. Sistemas de bordo e Carga Útil. Planejamento da missão. Órbitas: equatorial, solsíncrona, polar, inclinada. Órbita geoestacionária e molnyia. Tipos de estabilização de atitude. Controle de atitude. Sistemas de controle versus requisitos da missão. Lançadores. Janela de lançamento, manobras orbitais e de atitude. Injeção sincrônica. Modos de operação e modo de emergência. Operações em terra: controle da missão e dinâmica de voo.

## **Bibliografia**

WERTZ, J. R.; LARSON, J. W. Space Mission Analysis and Design. Microcosm & Kluwer Academic. Torrance, CA, 1999.

WERTZ, J. R. Spacecraft attitude determination and control, London: D. Reidel, 1978 (Astrophysics and Space Science Library).

<b>CMC-432-4</b>	<b>Projeto e Aplicação de Sistemas de Controle Térmico Para Uso Terrestre e Aeroespacial</b>
------------------	--

### **Eletiva**

**Pré-requisitos: não há**

**Carga horária: 60 horas**

**Professor responsável:** Roger Ribeiro Riehl

Princípios Fundamentais em Termodinâmica e Transferência de Calor.

Processos Interfaciais: Molhabilidade de Fluidos; Transferência de Calor Interfacial (evaporação e condensação); Regimes de Escoamento com Transferência de Calor (vertical e horizontal).

Aplicações de Sistemas Térmicos: Terrestre e Aeroespacial.

Definição de Cargas Térmicas.

Projeto, Seleção, Simulação e Detalhamento de Sistemas de Controle Térmico: Ativos: Sistemas de Bombeamento e Passivos: Tubos de Calor; Sistema de Bombeamento Capilar (CPL) e Tubo de Calor Circuitado (LHP).

Integração de Sistemas de Controle Térmico no Hardware.

Avaliação de Desempenho.

Qualificação de Sistemas de Controle Térmico: Terrestre: Normas, Ensaios e Procedimentos. Aeroespacial: Normas, Ensaios e Procedimentos.

Novas Tendências em Controle Térmico.

### **Bibliografia**

RIEHL, R. R. Thermal Control Systems Design - Terrestrial and Aerospace Applications", - anotações pessoais.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; WILEY, J. & Sons. Fundamentals of Engineering Thermodynamics.

BEJAN, A.; WILEY, J. & Sons. Advanced Engineering Thermodynamics.

HOLMAN, J. P.; HILL, Mc.Graw. Heat Transfer.

KAYS, W. M.; CRAWFORD; M. E., HILL, McGraw. Convective Heat and Mass Transfer.

KARAM, R. Satellites Thermal Control for System Engineers. AIAA.

STOECKER, W. F.; HILL, McGraw. Design of Thermal Systems.

<b>CMC-730</b>	<b>Pesquisa de Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/CMC</b>
----------------	--

### **Obrigatória**

**Crédito: 0**

Atividade *Obrigatória*, em cada período letivo, para todo aluno em fase de Pesquisa, definida pela oficialização de seu Orientador de Pesquisa que avaliará o desempenho do aluno nesta atividade. *Obrigatória*, também, antes da oficialização citada, para o aluno que não esteja matriculado em alguma disciplina: neste caso, a orientação e avaliação deverão ser feita por Docente aprovado pelo Coordenador Acadêmico.

<b>CMC-750</b>	<b>Dissertação de Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/CMC</b>
----------------	---

**Obrigatória**  
**Créditos: 12**

<b>CMC-780</b>	<b>Pesquisa de Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/CMC</b>
----------------	---

**Obrigatória**  
**Crédito: 0**

Atividade *Obrigatória*, em cada período letivo, para todo aluno em fase de Pesquisa, definida pela oficialização de seu Orientador de Pesquisa que avaliará o desempenho do aluno nesta atividade. *Obrigatória*, também, antes da oficialização citada, para o aluno que não esteja matriculado em alguma disciplina: neste caso, a orientação e avaliação deverão ser feita por Docente aprovado pelo Coordenador Acadêmico.

<b>CMC-800</b>	<b>Tese de Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/CMC</b>
----------------	---

**Obrigatória**  
**Créditos: 36**

Catálogo aprovado pelo CPG em 06/12/2016.