

Fernando Pinheiro Andutta

**O Sistema Estuarino dos rios Caravelas e Peruípe (Bahia): Observações,
simulações, tempo de residência e processos difusivo e advectivo.**

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, área de Oceanografia Física.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Bruner de Miranda

**São Paulo
2011**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

**O Sistema Estuarino dos rios Caravelas e Peruípe (Bahia): Observações,
simulações, tempo de residência e processos difusivo e advectivo.**
(versão corrigida)

Fernando Pinheiro Andutta

**Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, área de Oceanografia Física.**

Julgada em ____/____/____

Prof. Dr.

Conceito

Prof. Dr.

Conceito

Prof. Dr.

Conceito

Prof. Dr.

Conceito

Prof. Dr.

Conceito

“Estude sim, mas não por um título, e sim para produzir um bom conhecimento”.

O Sistema Estuarino dos rios Caravelas e Peruípe (Bahia): Observações, simulações, tempo de residência e processos difusivo e advectivo.

Sumário de capítulos e tópicos da tese

Agradecimentos	I
Legenda das figuras e lista das tabelas	II
Lista de siglas e abreviações	III
Resumo	IV
Abstract	V
Capítulo 1 – Introdução	p. 1
1.1 – O Sistema estuarino dos rios Caravelas e Peruípe	p. 1
1.2 – Clima, hidrologia, hidrodinâmica e propriedades termohalinas	p. 6
1.3 – Justificativa	p. 12
1.4 – Hipóteses Científicas	p. 12
1.5 – Objetivos	p. 13
1.6 – Síntese do trabalho	p. 14
Capítulo 2 – Materiais e métodos	p. 15
2.1 – Dados hidrográficos, correntes, e batimétricos	p. 15
2.2 – O modelo Delft-3D Flow	p. 20
2.3 – Características da grade	p. 27
2.4 – Condições de contorno e iniciais	p. 29
a-) Horizontais	p. 29
b-) Verticais	p. 31
c-) Parâmetros físicos	p. 32
d-) Condições iniciais	p. 33
e-) Critério de validação das simulações	p. 33
2.5 – Escalas de tempo de transporte em estuários	p. 34
2.6 – Solução analítica do tempo de residência e o diagrama de advecção-difusão	p. 38
Capítulo 3 – Dados observados simulações e validação do modelo	p. 44
3.1 – Propriedades hidrográficas e correntes	p. 44
3.2 – Validação do modelo	p. 61
a-) Resultados observacionais e simulações: estação A	p. 62
b-) Resultados observacionais e simulações: estação B	p. 65
c-) Resultados observacionais e simulações: estação C	p. 68
d-) Resultados observacionais e simulações: estação E	p. 71
e-) Distribuição longitudinal da salinidade no canal estuarino de Caravelas na sizígia: Resultados observacionais e teóricos	p. 74
Capítulo 4 – A circulação no sistema estuarino: análise dos resultados das simulações	p. 76
4.1 – Estuário de Caravelas: campo de velocidades	p. 77
a-) Maré vazante (Preamar + 3 horas)	p. 77

b-) Baixamar (estofa de vazante)	p. 78
c-) Maré enchente (Baixamar + 3 horas)	p. 82
d-) Preamar (estofa de enchente)	p. 83
4.2 – Estuário de Caravelas: estrutura longitudinal de salinidade	p. 86
4.3 – Estuário do rio Peruípe: campo de velocidades	p. 89
a-) Maré vazante (Preamar + 3 horas)	p. 89
b-) Baixamar (estofa de vazante)	p. 90
c-) Maré enchente (Baixamar + 3 horas)	p. 93
d-) Preamar (estofa de enchente)	p. 95
4.4 – Estuário do rio Peruípe: estrutura longitudinal de salinidade	p. 98
Capítulo 5 – Processos de transporte e tempo residência	p. 101
5.1 – O Tempo residência nos estuários dos rios Caravelas, Peruípe, Curimataú, Hudson, Conwy e Mersey	p. 101
5.2 – O Tempo residência no canal estuarino dos rios Caravelas e Peruípe usando o modelo Lagrangeano	p. 110
Capítulo 6 – Discussão e Conclusões	p. 112
Referências bibliográficas	p. 116

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos,

Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Bruner de Miranda pelo valioso conhecimento transmitido durante o programa de mestrado, e agora no programa de doutorado, e pelo meu primeiro livro presenteado. Adicionalmente, pelas inúmeras ajudas que possibilitaram a minha exposição a oportunidades singulares, tais como: minha realização de três cursos na Universidade de Concepción (Chile), ao curso em Porto Morelos (México), e ao curso intensivo de inglês no Alumni (~3 anos). Conseqüentemente, estas oportunidades me levaram ao conhecimento de diferentes pesquisadores e cientistas, e a diferentes formas de pensamentos;

Ao apoio financeiro concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) no apoio do projeto Produtividade, Sustentabilidade e Utilização do Ecossistema do Banco de Abrolhos – PROABOLHOS – Institutos do Milênio 2005-2008, MCT/CNPq (CNPq verba de projeto 420219/2005-6 em nome do Dr. Eurico Cabral de Oliveira);

Ao Prof. Dr. Lourval dos Santos Silva pelo conhecimento transmitido durante a graduação em Matemática e pela oportunidade única de me apresentar ao Prof. Dr. Miranda;

Ao Prof. Dr. Ilson Silveira, pelo conhecimento e pelas pressões psicológicas subliminares indiretas no programa de mestrado, às quais me colocaram no rumo de buscar sempre analisar nas equações os processos físicos mais importantes através da análise dimensional;

Aos professores Afrânio, Joseph, Ilson, Belmiro e Edmo, da Pós-graduação do Instituto Oceanográfico da USP pelo conhecimento adquirido;

Aos Professores Doutores Schettini, Eduardo Siegle, Mario Pereira da Silva e aos pesquisadores Marçal Pereira, Tom, Piero Mazzini, Cássia Pianca e Camila pelo apoio técnico nos trabalhos de campo e troca de conhecimento, não esquecendo as aventuras do campo;

Ao Dr. Carlos Teixeira, pelos ensinamentos da linguagem Matlab, e ao Dr. Alessandro Luvizon pela ajuda no início do programa de mestrado;

Ao Professores Dr. Peter Ridd e Dr. Eric Wolanski pelo apoio as pesquisas e grande conhecimento adquirido na Universidade James Cook (Austrália);

Ao Prof. Dr. Arnaldo Valle-Levinson pela oportunidade de realizar cursos no exterior e por me abrir contatos com grandes pesquisadores;

A Professora Dra. Lisa Lucas do United States Geological Survey (USGS), pelas inúmeras críticas construtivas no desenvolvimento da teoria de escalas de transporte em ambientes aquáticos e pelo livro presenteado “Contemporary Issues in Estuarine Physics”;

Ao Prof. Eric Deleersnijder e ao Dr. Jonathan Lambrechts pela ótima recepção durante os estágios na Universidade de Louvain-la-Neuve (Bélgica);

A todos os integrantes do Laboratório de Hidrodinâmica Costeira (LhiCo) e do Departamento de Oceanografia Física (DOF);

A todo pessoal que contribuiu direta e indiretamente: Vitor Izumi, Daniel Ruffato, Cristiane Oliveira, Edna David;

A vários professores que me transmitiram grande conhecimento e dos quais posso destacar: John Milliman, Rocky Geyer, Tolman Hendrik, David Prandle, Ajit Subramaniam, Carl Friedrichs, Stephen Monismith, David Jay e Charitha Pattiaratchi;

Ao Instituto Oceanográfico por sempre contribuir cientificamente a nível nacional e internacional;

Ao apoio financeiro concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) nas diferentes etapas de minha carreira nos programas de doutorado e mestrado anteriormente;

A minha família e minha esposa Cris pelo apoio e pela compreensão da minha dedicação aos estudos;

Por fim, a todos que atuaram de forma positiva ou negativa na minha vida, pois é através destas experiências que prosseguimos evoluindo.

Legendas das Figuras e lista das Tabelas

Figura 1 – Localização geográfica do sistema estuarino dos rios Caravelas e Peruípe. (a) O terminal da Aracruz – TA, e os canais de Sueste e de Abrolhos, o Parcel das paredes e o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos; (b) Posição das estações oceanográficas A (●), B (●) em Caravelas, ao norte, e C (●) e E (●) em Nova Viçosa, ao sul, **p. 1**.

Figura 2 – Variação diária da vazão do rio Peruípe para os meses de agosto 2007 (acima) e janeiro 2008 (abaixo), com indicação dos períodos de observação entre as quadraturas e as sizígias. Fonte: estação Linimétrica Helvécia nº 55510000 (código 1739006) - Agência Nacional de Águas (ANA), **p. 7**.

Figura 3 – Variação climatológica mensal estimada das vazões máximas, mínimas e médias ocorridas entre 1975 e 2008 no rio Peruípe corrigidas usando o fator de correção $c = 1,6$, **p. 8**.

Figura 4 – Variação climatológica mensal estimada das vazões máximas, mínimas e médias do rio Caravelas, estimada com a série de dados de 1975 a 2008 do rio Peruípe, **p. 9**.

Figura 5 – Oscilação da altura da maré no estuário do rio Caravelas durante os experimentos (período de 20 a 30 de agosto), **p. 10**.

Figura 6 – Representação da topografia de fundo do domínio considerado (em metros), **p. 20**.

Figura 7 – Grade numérica com representação da resolução diagonal espacial da grade (em metros), **p. 28**.

Figura 8 – Representação do grau de ortogonalidade do domínio horizontal da grade curvilínea, **p. 29**.

Figura 9 – Representação dos contornos abertos da região costeira (Norte, Sul e Leste) a serem forçados por componentes de maré. Os rios Peruípe, Cupído e Jaburuna são indicados pelos círculos vermelhos, aos quais serão aplicadas vazões ajustadas às observações, **p. 30**.

Figura 10 – Exemplo de um sistema estuarino com uma ligação com o mar, $C(X,Y)$ refere-se a uma concentração local e $P(X,Y)$ a diferentes posições, **p. 37**.

Figura 11 – Diagrama de advecção-difusão. O tempo de residência (em dias) indicado pela barra de cores e o parâmetro θ pelas linhas retas, calculados pelas equações (42) e (46), respectivamente, **p. 41**.

Figura 12 – Variação temporal com $\Delta t=0,5$ h dos perfis de salinidade durante um ciclo completo de maré semidiurna (13 h) na estação A: regime de maré de quadratura na estação de inverno (a) e verão (b), e de sizígia no inverno (c) e verão (d), **p. 45**.

Figura 13 – Variação temporal com $\Delta t=0,5$ h dos perfis de velocidade ($m.s^{-1}$) durante um ciclo completo de maré semidiurna (~13 h): regime de maré de quadratura na estação de inverno (a) e verão (b), e de sizígia no inverno (c) e verão (d). Valores de $u < 0$ e $u > 0$ indicam velocidades de enchente e vazante, **p. 47**.

Figura 14 – Perfis médios de velocidade ($m.s^{-1}$) obtidos a partir da integração de perfis a cada 0,5 hora durante um ciclo completo de maré semidiurna (~13 h): regime de maré de quadratura na estação de inverno (a) e verão (b), e de sizígia no inverno (c) e verão (d). Valores de $u < 0$ e $u > 0$ indicam velocidades de enchente e vazante. São também inseridos os valores da velocidade residual (u_a), **p. 48**.

Figura 15 – Variação temporal com $\Delta t=0,5$ h dos perfis de salinidade durante um ciclo completo de maré semidiurna (~13 h): regime de maré de quadratura na estação de inverno (a) e verão (b), e de sizígia no inverno (c) e verão (d), **p. 48**.

Figura 16 – Variação temporal com $\Delta t=0,5$ h dos perfis de velocidade ($m.s^{-1}$) durante um ciclo completo de maré semidiurna (~13 h): regime de maré de quadratura na estação de inverno (a) e verão (b), e de sizígia no inverno (c) e verão (d). Valores de $u < 0$ e $u > 0$ indicam velocidades de enchente e vazante, **p. 51**.

Figura 17 – Perfis médios de velocidade ($m.s^{-1}$) obtidos a partir da integração de perfis a cada 0,5 hora, durante um ciclo completo de maré semidiurna (~13 h): regime de maré de quadratura na estação de inverno (a) e verão (b), e de sizígia no inverno (c) e verão (d). Valores de $u < 0$ e $u > 0$ indicam velocidades de enchente e vazante. São também inseridos os valores da velocidade residual (u_a), **p. 52**.

Figura 18 – Variação temporal com $\Delta t=0,5$ h dos perfis de salinidade durante um ciclo completo de maré semidiurna (~13 h): regime de maré de quadratura na estação de inverno (a) e verão (b), e de sizígia no inverno (c) e verão (d), **p. 53**.

Figura 19 – Variação temporal dos perfis de velocidade ($m.s^{-1}$) durante um ciclo completo de maré semidiurna (~13 h): regime de maré de quadratura na estação de inverno (a) e verão (b), e de sizígia no inverno (c) e verão (d). Valores de $u < 0$ e $u > 0$ indicam velocidades de enchente e vazante, **p. 55**.

Figura 20 – Perfis médios de velocidade ($m.s^{-1}$) obtidos a partir dos perfis a cada 0,5 hora durante um ciclo completo de maré semidiurna (~13 h): regime de maré de quadratura na estação de inverno (a) e verão (b), e de sizígia no inverno (c) e verão (d). Valores de $u < 0$ e $u > 0$ indicam velocidades de enchente e vazante. São inseridos os valores da velocidade residual (u_a), **p. 56**.

Figura 21 – Variação temporal com $\Delta t=0,5$ h dos perfis de salinidade durante um ciclo completo de maré semidiurna (~13 h): regimes de maré de quadratura (a) e sizígia (b) durante a campanha de verão, **p. 58**.

Figura 22 – Variação temporal a cada 0,5 hora dos perfis de velocidade (m.s^{-1}) durante um ciclo completo de maré semidiurna (~ 13 h): regimes de maré de quadratura (a) e sizígia (b) durante a campanha de verão. Valores de $u < 0$ e $u > 0$ indicam velocidades de enchente e vazante, **p. 59**.

Figura 23 – Perfis médios de velocidade (m.s^{-1}) obtidos a partir dos perfis a cada 0,5 hora durante um ciclo completo de maré semidiurna (~ 13 h): regimes de maré de quadratura (a) e sizígia (b) durante a campanha de verão. Valores de $u < 0$ e $u > 0$ indicam velocidades de enchente e vazante. São inseridos os valores da velocidade residual (u_a), **p. 59**.

Figura 24 – Diagrama TS espalhado no SERC para as estações de inverno e verão, obtido da coleta de perfis a cada 0,5 hora durante um ciclo de maré semidiurna ~ 13 h, quadratura (●) e sizígia (○) e para as posições das estações oceanográficas A ●, B ● (Caravelas), C ● e E ● (Nova Viçosa). Isopícnais em intervalos com $\Delta\sigma_t=2,9$ (kg.m^{-3}). Valores indicados também na escala vertical., **p. 60**.

Figura 25 – Variação temporal comparando a espessura da camada de água observadas com as calculadas teoricamente na estação A, nas marés de quadratura (a) e sizígia (b), em 16 e 23 de janeiro de 2008, respectivamente, **p. 63**.

Figura 26 – Isopletas da velocidade medida (componente u , em m.s^{-1}) e correspondentes valores teóricos (modelo), e do parâmetro Skill na estação A, nas marés de quadratura (a) e sizígia (b). Movimentos de vazante e enchente indicados por $u > 0$ e $u < 0$, respectivamente, **p. 64**.

Figura 27 – Isopletas da salinidade medida (em ups) e correspondentes valores teóricos (modelo), e do parâmetro Skill, nas marés de quadratura (a) e sizígia (b) na estação A, **p. 65**.

Figura 28 – Variação temporal comparando a espessura da camada de água observadas com as calculadas teoricamente na estação B, durante as marés de quadratura (a) e sizígia (b), em 16 e 23 de janeiro de 2008, respectivamente, **p. 66**.

Figura 29 – Isopletas da velocidade medida (componente u , em m.s^{-1}) e correspondentes valores teóricos (modelo), e do parâmetro Skill nas marés de quadratura (a) e sizígia (b) na estação B. Movimentos de vazante e enchente indicados por $u > 0$ e $u < 0$, respectivamente, **p. 67**.

Figura 30 – Isopletas da salinidade medida (em ups) e correspondentes valores teóricos (modelo), e do parâmetro Skill, nas marés de quadratura (a) e sizígia (b) na estação B, **p. 68**.

Figura 31 – Variação temporal comparando a espessura da camada de água observadas com as calculadas teoricamente na estação C, durante as marés de quadratura (a) e sizígia (b), **p. 69**.

Figura 32 – Isopletas da velocidade medida (componente u , em m.s^{-1}) e correspondentes valores teóricos (modelo), e do parâmetro Skill nas marés de quadratura (a) e sizígia (b) na estação C. Movimentos de vazante e enchente indicados por $u > 0$ e $u < 0$, respectivamente, **p. 70**.

Figura 33 – Isopletas da salinidade medida (em ups) e correspondentes valores teóricos (modelo), e do parâmetro Skill na estação C, durante as marés de quadratura (a) e sizígia (b), **p. 71**.

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

