

Universidade de São Paulo  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
Departamento de Ciências Atmosféricas

Grupo de Micrometeorologia  
Laboratório de Interação Ar-Mar

## RELATÓRIO DE ATIVIDADES

Março – Setembro 2009

Projeto de Pesquisa de Mestrado

**Investigação numérica dos efeitos das ondas curtas de  
superfície e internas no desenvolvimento da CMO do  
Atlântico equatorial**

Fábio Luis Alves da Fonseca  
Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Jacyra Soares

## ÍNDICE

1. RESUMO DO PLANO INICIAL .....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.2 Discussão .....	2
2. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO PERÍODO .....	2
2.1 Atividades de pesquisa .....	2
Referências bibliográficas .....	7
2.2 Atividades acadêmicas .....	8
3. ATIVIDADES FUTURAS .....	9
3.1 Cronograma de execução .....	10

## **1. RESUMO DO PLANO INICIAL**

O projeto tem como objetivo geral aprofundar a investigação efetuada por Skielka et. al (2009) acerca da camada de mistura oceânica na região equatorial do Oceano Atlântico, utilizando o modelo de turbulência unidimensional General Ocean Turbulence Model (GOTM). Existem alguns processos no oceano que não podem ser separados com exatidão dos processos turbulentos. Entre esses processos estão as ondas curtas não lineares, que interagem com a turbulência de maneira ainda não totalmente entendida. Dessa forma, ênfase especial será dada ao papel das ondas internas e de superfície na turbulência da camada de mistura oceânica (CMO). A utilização, neste trabalho, de um modelo de turbulência relativamente simples (unidimensional) permitirá a realização de diferentes experimentos numéricos e, dessa forma, a identificação dos mecanismos físicos mais relevantes ao desenvolvimento da camada de mistura oceânica. No desenvolvimento deste projeto serão investigadas diferentes formas de incorporar os efeitos das ondas no desenvolvimento da CMO.

### **1.1 Objetivos**

O objetivo geral deste Projeto é aprofundar o estudo de Skielka et al. (2009), utilizando o modelo unidimensional GOTM (Burchard et al. 1999). Ênfase especial será dada ao papel das ondas internas e de superfície na turbulência da CMO.

No desenvolvimento deste projeto serão investigadas diferentes formas de incorporar os efeitos das ondas curtas no desenvolvimento da CMO.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- (a) Testar diferentes parametrizações utilizadas no GOTM;
- (b) Investigar a importância relativa dos termos turbulentos no desenvolvimento da CMO nos diferentes cenários;
- (c) Utilizar diferentes parametrizações, disponíveis no código do GOTM, para simular os efeitos das ondas curtas de superfície e internas;

- (d) Compreender os mecanismos físicos mais relevantes ao desenvolvimento da turbulência da CMO para os diferentes cenários investigados.

## **1.2 Discussão**

O interesse maior desta pesquisa é investigar numericamente o papel das ondas curtas não lineares que interagem com a turbulência de maneira ainda não totalmente entendida, utilizando o modelo de turbulência unidimensional GOTM.

É importante salientar que o código de modelo GOTM já se encontra implementado no Laboratório de Interação Ar-Mar do DCA da USP (Skielka, 2008). O Grupo de Micrometeorologia, do qual faz parte o Laboratório Interação de Ar-Mar, tem experiência na utilização de modelos de turbulência de fechamento de segunda ordem e de LES (*Large Eddy Simulation*) aplicados para a atmosfera (Oliveira et al., 2004; Marques Filho, 2004; Marques Filho et al. 2003; entre outros).

## **2. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO PERÍODO**

### **2.1 Atividades de pesquisa**

#### ***Resultados Preliminares***

Nesta etapa do trabalho, foi tomada como meta a reprodução das variáveis médias e das componentes da equação de energia cinética turbulenta obtidas por Skielka (2009). A idéia era tanto validar a nova implementação do modelo GOTM como também iniciar a discussão sobre o significado físico das variáveis escolhidas. Além disso, obter subsídios para aprofundar os estudos acerca da camada de mistura oceânica na região equatorial do Oceano Atlântico.

Seguindo os procedimentos efetuados no trabalho citado, se utilizou as mesmas configurações para o software e a mesma série de dados. Esta série, composta de medições obtidas por uma bóia oceanográfica localizada em  $(0^\circ, 23^\circ)$  – região equatorial do Oceano Atlântico – do *Prediction and Research Moored Array over the Tropical Atlantic Ocean* (PIRATA, Servain et al., 1998; Boulès et al. 2008), está dividida em dois períodos específicos, chamados pelo autor de estações. Cada estação foi escolhida por representar a posição da Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT) em relação à região de estudo. Mais

especificamente, a primeira estação escolhida teve início em 01 de fevereiro às 00h e término em 30 de abril às 15h. Esta é caracterizada pela presença da ZCIT e da subcorrente equatorial (SCE) mais rasa. A segunda estação vai de 01 de agosto às 00h até 31 de outubro de às 15h, que é caracterizada por uma SCE mais profunda e o deslocamento da ZCIT para o hemisfério norte.

O cálculo das propriedades turbulentas é realizado, pelo modelo de fechamento, a partir dos campos médios, de modo que é importante a representação realística desses campos. Para tanto é utilizado um processo de relaxação nas equações médias (Skielka et al., 2009).

As configurações numéricas como espaçamento de grade ( $\Delta z$ ), passo de tempo ( $\Delta T$ ), altura da camada ( $H$ ) e tempo de relaxação estão descritos na tabela 1 .

$\Delta T$	$H$	$\Delta z$	$T_{relax}$
60 s	200 m	1 m	86400 s

Tabela 1: Configuração da simulação numérica.  $\Delta T$  é o passo temporal;  $H$  é a profundidade da coluna d'água;  $\Delta z$  é a resolução vertical da grade;  $T_{relax}$  é o período de relaxação

Os dados observados na coluna d'água apresentam, algumas vezes, resolução espacial inferior àquela do modelo. Enquanto a resolução espacial vertical ( $\Delta z$ ) é de 1 m, a resolução espacial vertical observada é geralmente mais baixa. Devido a esta diferença entre as resoluções das escalas utilizadas no modelo e as observadas, Skielka et al. (2009) apontou um período de relaxação ótimo para reproduzir os campos médios das propriedades estudadas,  $T_{relax} \gg \Delta t$ , onde  $T_{relax} = 3600$  s. O intuito foi o de interpolar linearmente os dados de observações na coluna d'água para se adequarem à resolução espacial do modelo. Sem tal procedimento, o autor verificou que a CMO era mais profunda que a observada e, portanto, as propriedades turbulentas não eram fisicamente consistentes, decorrendo diretamente do fato do campo médio não ser reproduzido corretamente.

Na Figura 1, vemos que o modelo, nas configurações atuais, é capaz de reproduzir o campo médio de temperatura de maneira satisfatória, pois há pouco desvio entre a curva produzida através do processo de relaxação e àquela observada.

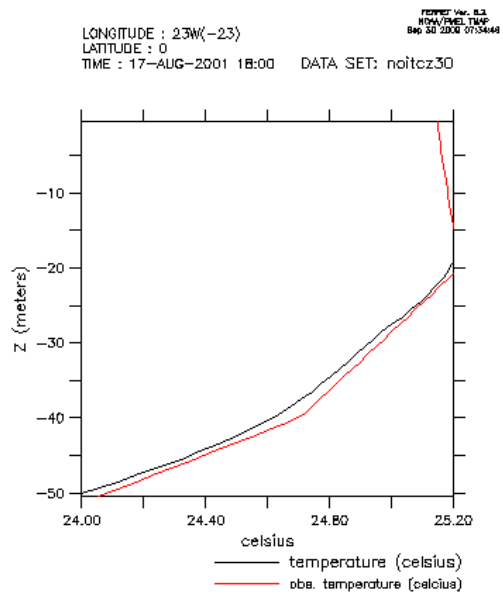
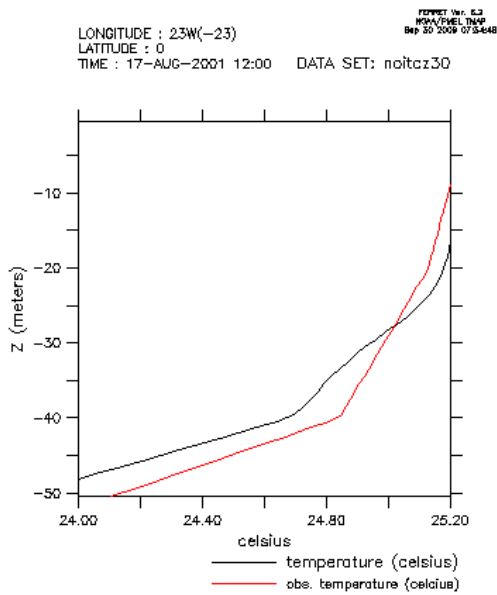
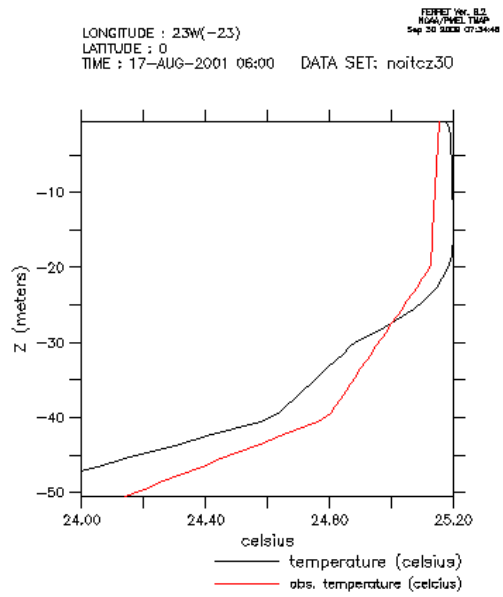
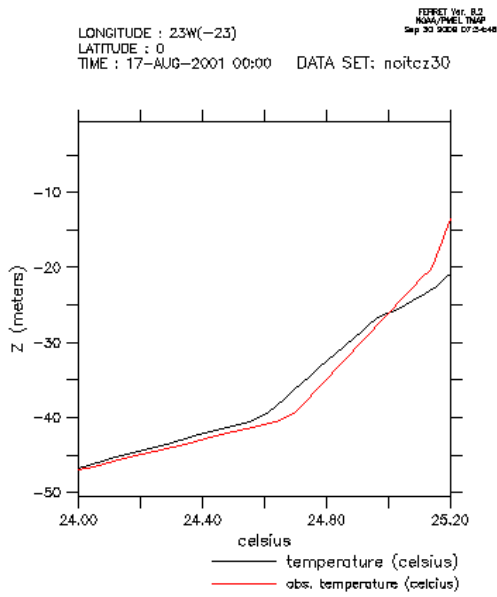


Figura 1: Perfis de temperatura da coluna d'água em diferentes horários. Em vermelho os valores observados e em preto o relaxado pelo GOTM.

As figuras de 2 à 5 representam os campos médios das propriedades como reproduzido pelo modelo, utilizando as configurações citadas e o processo de relaxação de dados.

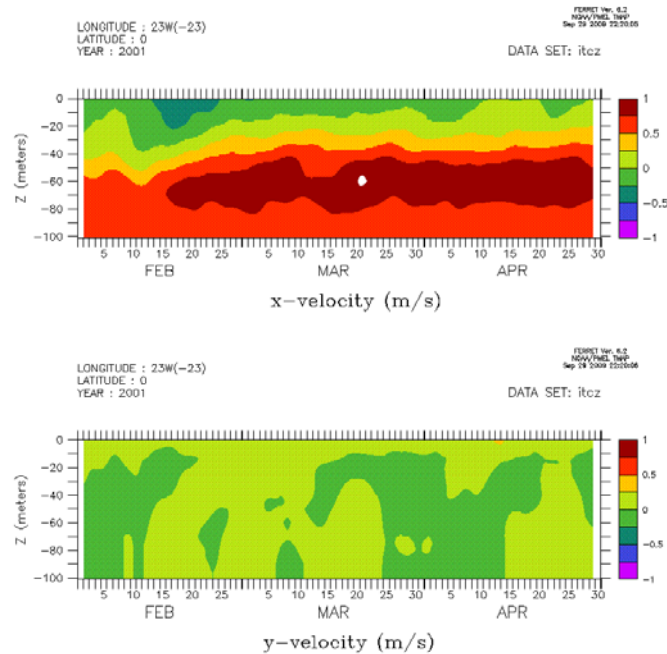


Figura 2: Variáveis médias reproduzidas pelo GOTM para a Estação 1. (a) velocidade zonal e (b) velocidade meridional.

Na Figura 2a,b, Estação 1, observa-se correntes em superfície pouco intensas. Os valores para a velocidade meridional são menores que o zonal e há um máximo de velocidade zonal, de  $1 \text{ ms}^{-1}$ , em cerca de 50 m de profundidade. Na Figura 3a, vê-se a existência da camada superior estratificada e de temperaturas de superfície elevadas, caracterizando a presença da ZCIT. Já na Figura 3b, é possível perceber a queda da salinidade em superfície devido à precipitação, também característico da presença da ZCIT.

Para a Estação 2, Figuras 4 e 5, vemos o máximo de velocidade zonal deslocado. Este agora se encontra abaixo de 70 m de profundidade, portanto, as correntes em superfície estão mais intensas.

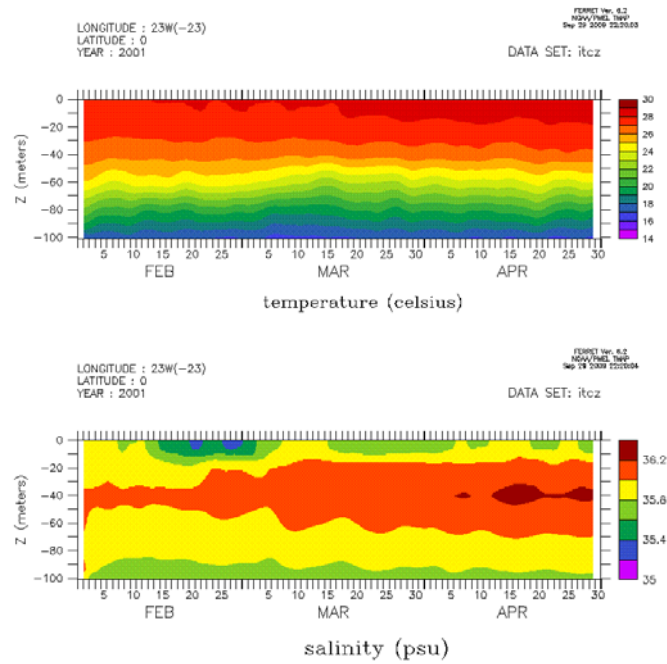


Figura 3: Variáveis médias reproduzidas pelo GOTM para a Estação 1. (a) Temperatura potencial; (b) salinidade.

O padrão de temperatura, Figura 5a, não se apresenta mais tão bem estratificado como na Estação 1. Os gradientes de salinidade quase não apresentam variação no período e também não há, como na Estação 1, um grande gradiente em superfície.

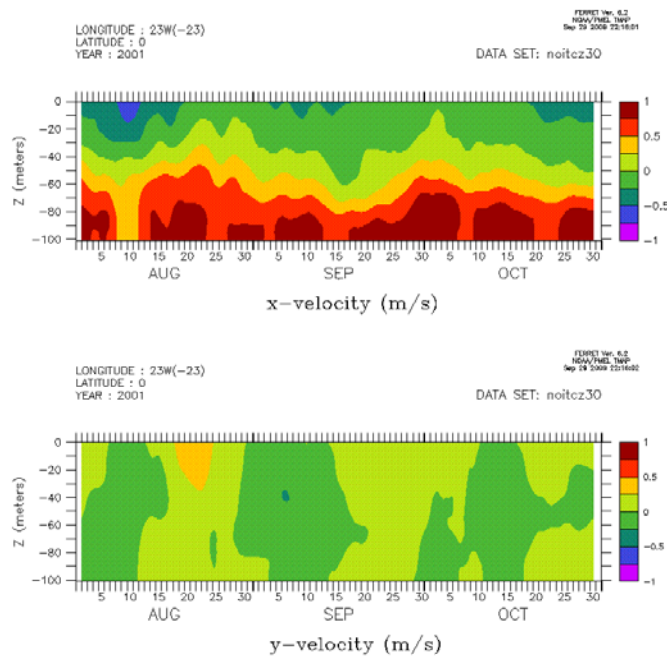


Figura 4: Variáveis médias reproduzidas pelo GOTM para a Estação 2. (a) velocidade zonal; (b) velocidade Meridional.



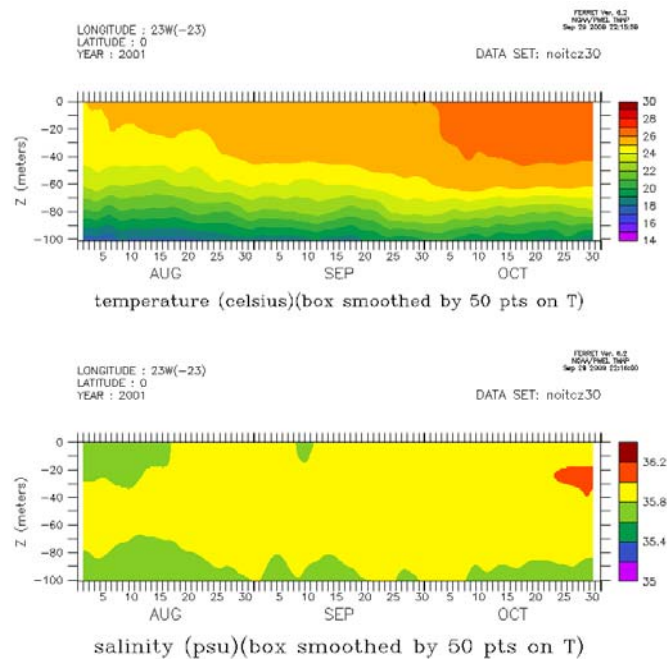


Figura 5: Variáveis médias reproduzidas pelo GOTM para a Estação 1. (a) Temperatura potencial; (b) salinidade.

### Referências bibliográficas

- Bourlès, B. R., 2008: PIRATA program: history and accomplishments of the 10 first years tropical Atlantic observing system's backbone. *Bulletin of the American Meteorological Society* 1111-1125.
- Burchard, H., 2002: Applied Turbulence Modelling in Marine Waters. In: *no. 100 in Lecture Notes in Earth Sciences*. Springer.
- Burchard, H., Bolding, K., Villarreal, M., 1999: GOTM – a general ocean turbulence model. Theory, applications and test cases. *Tech.Rep. EUR 18745*. EN, European Commission.
- Marques Filho, E., 2004: Investigação da CLP convectiva com modelo LES aplicado a dispersão de poluentes. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo.
- Marques Filho, E., Oliveira, A. P., Karam, H., Rizza, U., 2003: Simulação Numérica do Transporte de um Poluente Inerte e Passivo na CLP Convectiva através de um modelo LES. *Revista Ciência e Natura*, 1, 83-96.
- Oliveira, A., Soares, J., Karam, H., Pereira, M., Marques Filho, E., 2004: Numerical modeling of the planetary boundary layer. *Revista Brasileira de Engenharia Térmica*, 5, 74-83.
- Servain, J., Busalacchi, A. J., McPhaden, M. J., Moura, A. D., Reverdin, G., Vianna, M., et al., 1998: A Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic (PIRATA). *The Bulletin of American Meteorological Society*, 79, 2019-2031.

Skielka, U. T., 2008: Estudo numérico da evolução da camada de mistura oceânica do Atlântico equatorial utilizando o modelo GOTM. Relatório de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo.

Skielka, U., Soares, J., & Oliveira, A., 2009: Study of the Equatorial Atlantic oceanic mixing layer using a one-dimensional turbulence model. *Revista Brasileira de Oceanografia (SUBMETIDO)*.

## **2.2 Atividades acadêmicas**

As atividades realizadas concentraram-se, principalmente, na realização das disciplinas necessárias para o cumprimento de créditos obrigatórios e para um melhor entendimento dos conceitos envolvidos com a realização do projeto de pesquisa. A maior parte dos créditos requeridos foi obtida no primeiro semestre, totalizando, até setembro de 2009, 78% do necessário para o depósito da dissertação. Os créditos restantes serão concluídos no semestre atual. Na Tabela 2, podem ser vistas as disciplinas realizadas e o conceito obtido em cada uma delas.

Realizei com sucesso o exame de proficiência em língua inglesa no dia 28 de agosto.

Entre os dias 31 de agosto e 4 de setembro participei no curso de extensão universitária MPI – Message Passing Interface, ministrado no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, com carga horária de 20h.

Neste semestre também foram realizadas as etapas de compilação, instalação e de primeiros testes do modelo.

**Tabela 2:** Disciplinas realizadas durante o primeiro semestre do ano 2009.

<b>DISCIPLINA</b>	<b>CONCEITO</b>
MAP-5725	Tratamento Numérico de EDOs B
IOF-5857	Dinâmica de Fluidos Geofísicos B
MAC-5742	Introdução à Computação Paralela e Distribuída A
AGM-5716	Termodinâmica da Atmosfera B
AGM-5714	Dinâmica da Atmosfera II A

### 3. ATIVIDADES FUTURAS

A próxima etapa do projeto será testar as parametrizações para a quebra de ondas de superfície. Com tal intuito, lerei o manual do modelo GOTM e a tese de doutorado de um dos autores do modelo (Burchard, 2002). Também estudarei o código fonte.

Além disso, continuarei a ler a bibliografia contida no projeto original e a pesquisar outros títulos para sustentar o embasamento teórico deste trabalho.

Com relação aos créditos obrigatórios exigidos pelo programa para conclusão do mestrado, realizarei neste semestre as disciplinas constantes na tabela 3.

**Tabela 3:** Disciplinas em andamento correspondentes ao segundo semestre do ano 2009.

DISCIPLINA		CONCEITO
AGM-5804	Micrometeorologia	CURSANDO
AGM-5900	Preparação Pedagógica	CURSANDO

### **3.1 Cronograma de execução**

<b>Atividades</b>	<b>Período</b>
Realização das disciplinas, pesquisa bibliográfica, familiarização com o código do GOTM.	Março de 2009 a Dezembro de 2010.
Exame de Qualificação.	Abril de 2010.
Realização das simulações, análise dos resultados e redação da dissertação.	Maior de 2010 a março de 2011.