

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

**RELATÓRIO DE ATIVIDADES**

**Área** : Mestrado em Meteorologia

**Projeto** : “Efeito da ressurgência oceânica costeira na camada limite atmosférica na região  
sudeste do Brasil”

**Aluna** : Flávia Noronha Dutra

**Orientadora** : Profa. Dra. Jacyra Soares

**Data de entrega** : 15/10/2004

## **1. Resumo do plano inicial** : “*Efeito da ressurgência oceânica costeira na camada limite atmosférica na região sudeste do Brasil*”

### 1.1 – INTRODUÇÃO

A Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSE) constitui a região delimitada pelos Cabos Frio (RJ) e de Santa Marta (SC), desde a linha da costa até sua borda, situada entre as isobatimétricas de 120 e 180 m. A área total da PCSE é da ordem de 150 000 km<sup>2</sup>.

Do ponto de vista observacional a descrição da camada limite planetária (CLP) sobre regiões não homogêneas requer o emprego, por um longo período de tempo, de uma rede de observações com resolução espacial suficiente para amostrar adequadamente não só os fenômenos de larga escala mas também os de menor escala. Entretanto, uma rede de observações meteorológicas, com grande resolução temporal e espacial, na prática, não existe na região sudeste do Brasil e muito menos sobre a PCSE.

Dessa forma, uma alternativa viável para investigar a evolução temporal e espacial da CLP sobre superfícies não homogêneas que será utilizada neste Projeto, é o emprego do modelo numérico de mesoescala TVM-NH (“Tridimensional Vorticity Model Non Hydrostatic”).

### 1.2 – OBJETIVOS

O objetivo geral da presente proposta é investigar, utilizando o modelo numérico de mesoescala TVM-NH, a camada limite planetária na região sudeste do Brasil. A área de estudo inclui a plataforma continental sudeste, região onde ocorre ressurgência oceânica costeira

Serão comparadas as CLP geradas na presença e na ausência de ressurgência costeira oceânica. Os mecanismos físicos mais importantes envolvidos na variação temporal e espacial da CLP também serão discutidos.

### 1.3 - MODELO NUMÉRICO

Os estudos da CLP serão baseados em simulações numéricas do escoamento utilizando o modelo TVM-NH (*Tri-Dimensional Vorticity Model*) versão não-hidrostática.

A série de modelos denominados TVM tiveram sua origem no modelo bidimensional ‘URBMET’, Bornstein (1975) expandido, depois, para três dimensões Bornstein et al. (1991). Nestas duas versões iniciais do modelo, a topografia era considerada plana, e as equações da

vorticidade na direção  $x$  e  $y$  eram obtidas a partir das aproximações de Boussinesq e hidrostática para as equações do movimento

Os efeitos topográficos foram incluídos no TVM, através da introdução do sistema de coordenadas sigma (Bornstein, et al., 1996; Schayes et al., 1996).

A versão hidrostática do modelo TVM, com coordenadas sigma, já foi utilizada, pelo Grupo de Micrometeorologia, para investigar o efeito topográfico sobre a evolução da camada limite planetária na região em Iperó, SP (Karam, 1995, Karam e Oliveira, 1998, Karam e Oliveira, 2000).

Thunis (1995) desenvolveu uma versão não hidrostática do modelo TVM, ou seja, o modelo TVM-NH. Esse modelo já foi utilizado, pelo Grupo de Micrometeorologia, para estudar a brisa lacustre do lago de Itaipu (Stivari et al., 2001).

Estudos realizados utilizando o TVM tem mostrado que ele simula com precisão, muitas características observadas da evolução diurna da camada limite planetária em ambientes sob influência de brisas, em áreas de terrenos complexos (Orgaz e Fortez, 1998).

O modelo TVM-NH, que será utilizado neste trabalho, é um modelo tridimensional, não hidrostático, incompressível e segue as aproximações de Boussinesq. O modelo contém duas camadas de solo e duas camadas atmosféricas.

**Camadas de solo:** O sistema de solo contém duas camadas, a primeira com profundidade de 10 cm. A profundidade da segunda camada corresponde a alcançada pela onda anual de temperatura. A temperatura da superfície de cada classe de ocupação do solo é prognosticada pelo método da força restauradora (Deardorff, 1978), exceto para a temperatura do oceano que é mantida constante.

**Camada Limite Superficial (CLS):** A CLS é a camada mais próxima da superfície e corresponde aos dois primeiros níveis do modelo. Nesta camada os fluxos turbulentos são considerados constantes e diagnosticados através da teoria da similaridade de Monin-Obukov.

**Camada Atmosférica acima da CLS:** Acima da CLS as equações que descrevem a estrutura dinâmica e termodinâmica do modelo são derivadas das equações de conservação de momento, calor e umidade para convecção rasa. O TVM utiliza para prognóstico do campo do vento as equações de vorticidade. As componentes da velocidade do vento são recuperadas da vorticidade via funções de corrente.

Neste trabalho não será considerada a topografia da região e a cobertura de solo será considerada ou solo nu ou água pois o interesse maior do trabalho concentra-se no estudo da diferença da CLP formada na presença e na ausência de ressurgência oceânica costeira.

## **2. Desenvolvimento do trabalho**

Está sendo feita a análise do modelo TVM-NH, bem como algumas execuções de teste, para familiarização com o processamento do mesmo.

## **3. Resultados preliminares**

Ainda não foram obtidos resultados relacionados ao estudo planejado, apenas resultados de testes.

#### 4. Atividades desenvolvidas

##### 4.1 – Disciplinas cursadas :

Código	Descrição da disciplina	Início	Fim	Carga horária	Créditos	Frequência	Conceito		Situação
AGM 5822- 7	Radiação Atmosférica I	08/03/ 2004	09/05/ 2004	90	6	100.00	B	N	Concluída
IOF 5817- 3	Física dos Oceanos I	08/03/ 2004	30/05/ 2004	120	8	96.00	C	N	Concluída
AGM 5713- 5	Dinâmica da Atmosfera I	09/03/ 2004	10/05/ 2004	90	6	93.00	A	N	Concluída
AGM 5714- 5	Dinâmica da Atmosfera II	10/05/ 2004	11/07/ 2004	90	6	90.00	B	N	Concluída
AGM 5804- 7	Micrometeorologia	13/09/ 2004	26/12/ 2004	150	0	0.00	-	N	Cursando
IOF 5828- 3	Hidrodinâmica da Plataforma Continental	20/09/ 2004	12/12/ 2004	120	0	0.00	-	N	Cursando
IOF 5852- 1	Processos Turbulentos Oceânicos	20/09/ 2004	12/12/ 2004	120	0	0.00	-	N	Cursando
AGM 5828- 1	Modelagem de Processos Microfísicos da Precipitação e Aerossóis	27/09/ 2004	24/10/ 2004	60	0	0.00	-	N	Turma cancelada

#### 4.2 – Leitura de *paper* sobre padrões de circulação local da área do Lago de Itaipu (Stivari,2002).

O texto trata de simulações numéricas da brisa lacustre utilizando o modelo TVM-NH, o mesmo que será usado em meu projeto.

Para as simulações, foi considerada uma área de 100 km de longitude e 180 km de latitude, englobando o lago de Itaipu e seu valo. Quatro diferentes tipos de superfície foram considerados : água, floresta, agricultura e pasto, bem como a topografia do vale.

O modelo TVM-NH faz o prognóstico dos parâmetros meteorológicos através das equações da vorticidade, da humidade específica e da termodinâmica, e determina os parâmetros da superfície através da metodologia de Deardorff (1978), que usa 2 camadas de solo.

Foram realizados 4 experimentos distintos :

- considerando a topografia e o tipo de superfície reais e a presença do lago;
- considerando a topografia real e a presença do lago, mas a superfície como agricultura;
- considerando a topografia plana, o tipo de superfície de agricultura e a presença do lago;
- considerando a topografia real, a superfície somente de agricultura e sem a presença do lago.

Comparando os resultados, pode-se concluir em primeiro lugar que, independente do uso da terra e da topografia, a presença do lago é a razão principal da existência da brisa lacustre, pois provoca os gradientes horizontais negativos de temperatura. Quando a topografia real é incluída, a brisa fica ainda mais intensa e melhor definida.

Também pode-se perceber que o uso da terra é importante para a distribuição espacial da circulação nessa região, pois a brisa é mais intensa e se espalha sobre uma área maior com a vegetação real, devido ao coeficiente de rugosidade.

Durante a noite, o gradiente horizontal de temperatura é positivo, causando convergência sobre o lago.

### 4.3 – Leitura de *paper* sobre predição de temperatura e de humidade na superfície do solo, incluindo uma camada de vegetação (Deardorff,1978).

O texto primeiramente compara 5 diferentes métodos de predição da temperatura do solo com o método *force restore* (ref.: Bhumralkar, [1975] e Blackadar, [1976]), descrevendo o último com mais detalhes.

Os métodos comparados foram :

- múltiplas (12) camadas de solo : que resolve a equação de difusão através de diferenças finitas (ref.: Carlslaw and Jaeger, [1959]);
- solução da equação de balanço de energia na superfície, considerando a conservação do fluxo de calor do solo na superfície (ref.: Gates et al., [1971] e Manabe et al., [1974])
- solução da mesma equação acima, mas considerando o fluxo total como um terço do fluxo de calor sensível (ref.: Kasahara e Washington, [1971]);
- ainda solução da equação anterior, mas considerando o fluxo total dependente do fluxo de radiação líquido (ref.: Nickerson e Smiley, [1975]);
- método que considera a variação local da temperatura do solo dependente da soma dos fluxos de calor para a atmosfera (ref.: Arakawa, [1971], Corby et al., [1972] e Rowntree, [1975]).

Esses métodos, juntamente com o *force restore*, foram testados em 3 etapas, utilizando 5 tipos distintos de solo e aplicando o método de múltiplas camadas como controle. A primeira etapa considerava forçantes atmosféricas constantes, com exceção da radiação solar variável. A segunda considerava as forçantes atmosféricas parcialmente randômicas e com flutuações de período muito menores do que o ciclo diurno. A terceira considerava apenas forçantes randômicas, ou seja, como a etapa anterior mas sem as forçantes solares. Nas três etapas o método de Bhumralkar e Blackadar apresentou resultados mais próximos dos valores de controle.

O método *force restore* considera duas camadas de solo : uma influenciada por variações diurnas e outra, mais interna, influenciada por variações anuais.

O autor então desenvolveu um método similar ao anterior, mas para cálculo da humidade. Acrescentou também a parametrização de uma camada de vegetação, testando os resultados contra observações de *Pennman e Long [1960]*. Sua conclusão foi de que a parametrização aumentou em 50% o tempo de processamento do modelo, mas evitou grossos erros que aparecem quando se assume solo nu.

#### 4.4 – Leitura de *paper* sobre o modelo TVM (Topographic Vorticity-Mode Mesoscale- $\beta$ (Schayes et al.,1996).

O texto trata da formulação do modelo TVM a partir do modelo URBMET. O último era um modelo bidimensional, hidrostático, com aproximação de Boussinesq, incompressível, de convecção rasa e sem topografia, desenvolvido por Bornstein (1975). Ele foi expandido para 3 dimensões por Bornstein et al.(1986, 1987 a) , passando a usar as duas componentes horizontais da vorticidade e as duas funções de corrente.

O modelo TVM é uma versão do URBMET tridimensional que considera a topografia, desenvolvido por Schayes e Thunis (1990). Para isso, ele escreve as equações em coordenadas sigma. Esse sistema de coordenadas pode ser chamado de influenciado pelo terreno, pois o contorno topográfico é suavizado conforme a altura em relação ao solo aumenta.

As vantagens apresentadas para o modelo são :

- a densidade e a pressão desaparecem das equações do movimento, sendo que a pressão no contorno superior em geral é uma fonte de instabilidade nos modelos;
- a abordagem pela vorticidade fornece análises mais intuitivas dos processos dinâmicos e termodinâmicos envolvidos;
- como as vorticidades devem ser integradas no espaço para obter o campo de velocidade, o último tem resultados menos intensos, pois tem descontinuidades reduzidas;
- o quadrado da vorticidade é uma propriedade conservativa;
- os efeitos não hidrostáticos são automaticamente incluídos no modelo;
- a diferença entre as versões hidrostática e não hidrostática do modelo é apenas a inclusão de alguns termos na última versão;
- modelos de vorticidade não hidrostáticos contém apenas 2 equações prognósticas;
- modelos de vorticidade não hidrostáticos têm apenas que resolver 2 equações de corrente bidimensionais.

As desvantagens são :

- esse modelo necessita de uma integração adicional a partir da equação da vorticidade para recuperar os campos de velocidade;
- a formulação hidrostática do modelo não inclui diferenças horizontais de velocidades verticais, mas isso seria relevante apenas em regiões de velocidades verticais intensas, onde a formulação hidrostática falha por natureza.

## **5. Perspectivas**

Ao término do ano de 2004, uma análise preliminar do modelo já deverá estar concluída e também os créditos relativos a disciplinas deverão estar realizados. Durante o ano de 2005 será então possível o desenvolvimento dos estudos relativos ao plano.

## **6. Bibliografia**

Bornstein, R. D; J. Cordova, R. Salvador and L. J. Shieh, 1991: Modeling the Polluted Coastal Urban Environment; Electric Power Research Institute EPRI, Report EA-5091, Vol. 3, Research Project 1630-13. 235 pp.

Bornstein, R. D., P. Thunis, P. Grossi and G. Schayes, 1996: Topographic Vorticity-Mode Mesoscale-B (TVM) Model. Part II: Evaluation, *J. of Appl. Meteor.*, 35, 1814-1834.

Deardorff, J.W., 1978: Efficient prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation. *J. Geophys. Res.*, **83**, C4, 1889-1903.

Karam, H.A., 1995: *Simulação Numérica da CLP na região de Iperó através de um modelo de 3 Dimensões*. Dissertação de Mestrado, Dep. de Ciências Atm., IAG-USP, 112 pp.

Karam, H.A e A P. Oliveira, 1998: Estudo do Efeito Topográfico no Ciclo Diurno do Vento na Superfície no Estado de São Paulo, *X Congr. Bras. De Meteorologia*, 26-30 de outubro de 1998, Brasília, DF.

Karam, H. A. and Oliveira, A. P., 2000: Patterns of Local Circulation Induced by Topography: Observation and Numerical Modeling. Submitted to *Boundary-Layer Meteorology*, June.

Orgaz, M.D.M. e J.L. Fortes, 1998: Estudo das brisas costeiras na região de Aveiro. In Proceedings do 1<sup>o</sup> Simpósio de Meteorologia e Geofísica Hispano Português. Lagos, Portugal.

Schayes, G, P. Thunis, R. Bornstein, 1996: Topographic Vorticity-Mode Mesoscale-B (TVM) Model. Part I: Formulation, *J. Appl. Meteor.*, 35, 1815-1823.

Stivari, S.M, A.P.Oliveira, H.A.Karam, J.Souares, 2003: Patterns of Local Circulation in the Itaipu Lake Area: Numerical Simulations of Lake Breeze. *Journal of Applied Meteorology*. **42 (1)**, 37-50.

Tunis, P., 1995: Formulation and Evaluation of a Nonhydrostatic Vorticity Mesoscale Model, Ph.D Thesis, Institut d'Astronomie et de Géophysique G. Lamaître, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium, 151 pp.

Veleda, D.; J. Soares e H. Karam, 2000: Campo do vento na Camada Limite Planetária sobre terreno complexo. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro. Outubro.