ESTUDO OBSERVACIONAL DE CASO DA ENERGÉTICA MODAL E DE MODELAGEM DA OCORRÊNCIA DE LINHAS DE INSTABILIDADE NA AMAZÔNIA

José Paulo Bonatti [1]

RESUMO

É estudada a energética modal durante a passagem de linha de instabilidade na Amazônica para o caso entre os dias 20 e 21 de janeiro de 2004 onde a LI ficou mais ao sul da região e observou-se um sistema de baixa associado. É analisada a partição de energia entre 3 classes de modos verticais (600 m a 10 km, 100m a 600 m e 10 m a 100m de altura equivalente), para os modos verticais e horizontais e suas interações. È obtido que para os modos verticais da classe 2 dominam e que as suas interações são importantes, sendo que as interações entre a classe 1 e 2 também são relevantes. Para os modos horizontais Rossby e Kelvin dominam para a classe 2 e suas interações. È feita uma simulação partindo do dia 20/01/2004 às 00 UTC por 1,5 dias. O modelo reproduz relativamente bem o fenômeno na escala de dados disponíveis. Os índices estatísticos calculados mostram valores semelhantes aos dos modelos operacionais.

ABSTRACT

The modal energetic is studied for the Amazonian squall lines for the case between days January 20 and 21, 2004 where the squall line were located at the south of the region and it is observed that there was an associated low system. The energy partition is analyzed among 3 classes of vertical modes (600 m to 10 km, 100m to 600 m and 10 m to 100m of equivalent height), for the vertical and horizontal modes and its interactions. It is obtained that the vertical mode of class 2 dominates and its interactions are important, also the interactions between class 1 and 2 has importance. For the horizontal modes Rossby and Kelvin dominate for the class 2 and its interactions. It is done a simulation beginning at day 20/01/2004 at 00 UTC per 1,5 days. The model reproduces the phenomenon relatively well in the scale of available data. The calculated statistical indices show similar values to the ones of the operational models.

Palavras-Chave: Linha de Instabilidade Amazônica, Modelagem Global, Energética Modal.

INTRODUÇÃO

Um fenômeno importante na região Amazônica são as linhas de instabilidade (LIs), que são bandas longas e estreitas de nuvens convectivas e podem ser entendidas como sistemas de grande mesoescala para escala sinótica com orientação geralmente linear e que se formam ao longo da costa norte-nordeste da América do Sul, desde a Guiana até o Maranhão no Brasil, durante à tarde e propagam-se através da bacia Amazônica, com algumas se dissipando próximo à costa. A velocidade média é entre 12 e 16 ms^{-1} com dimensão média de 1400 km de comprimento e 170 km de largura (Cohen et al 1989). As linhas de instabilidade tendem a se formar ao sul da Zona de Convergência Intertropical do Atlântico e em seu estágio inicial podem ser considerados como de mesoescala e podem atingir a escala sinótica durante o seu deslocamento.

[1] DMD / CPTEC / INPE
12.630-000 Cachoeira Paulista, SP
Tel.: (12) 3186.8421, e-mail: bonatti@cptec.inpe.br

Cohen et al (1995) estudaram um caso de linha de estabilidade na Amazônia através das condições ambientais associadas. Concluíram que a situação sinótica inclui a presença de ondas de leste e também uma fonte de calor localizada. Cada um destes mecanismos pode ser responsável por si só pela aceleração do jato de baixos níveis. É também possível que as características de propagação das ondas originadas ao longo da costa do Atlântico podem sofrer significantes mudanças pela fonte localizada de calor sobre a parte oeste da Amazônia. Cohen et al (1995) ressaltam que o papel de cada um dos fenômenos deve ser pesquisado através de simulação numérica para avaliar a importância relativa. A figura 3 do trabalho de Cohen et al apresenta imagens de satélite para os dias 5 a 7 de maio de 1987 mostrando também a presença de uma frente fria que se estende desde o SE do Brasil e oceanos adjacentes se conectando com a convecção na Região Amazônica.

Um aspecto importante a ser analisado para as LIs é a energética. Uma forma interessante de estudá-la é através da partição de energia em modos normais atmosféricos e a interação entre os modos verticais e entre os modos horizontais. Portanto, são necessários estudos observacionais e de simulação numérica para um melhor entendimento das conexões da passagem das LIs e a convecção na Amazônia.

O objetivo é analisar a capacidade do modelo global do CPTEC em simular esses eventos em alta resolução. Através dos resultados da modelagem pode-se melhor entender as conexões da passagem de LIs com a organização da convecção. Um outro objetivo é estudar a energética modal (horizontal e vertical) durante estes eventos do ponto de vista observacional e utilizando resultados da simulação numérica, novamente verificando a capacidade do modelo em reproduzir a partição e interação de energia entre os modos horizontais e verticais.

METODOLOGIA E DADOS

Uma descrição da física do modelo global do CPTEC (MGCA) pode ser encontrada em Kinter et al. (1997) e Bonatti (1996). O núcleo dinâmico foi re-escrito para permitir o uso da integração semi-lagrangeana 3-D e uso de grade reduzida. Para avaliar o desempenho do modelo serão utilizados os mesmos índices estatísticos que são calculados diariamente para a previsão operacional, do modelo global do CPTEC. Esses índices são os seguintes: correlação de anomalia ou destreza (**Cor**), erro médio (**Viés**) e erro quadrático médio (**EQM**). As variáveis utilizadas operacionalmente também foram mantidas: altura geopotencial (**z**), pressão ao nível médio do mar ($\mathbf{P_S}$), temperatura virtual ($\mathbf{T_V}$) água precipitável (**AP**) e vento. Para o vento, as estatísticas são calculadas separadamente para as componentes zonal (**u**) e meridional (**v**).

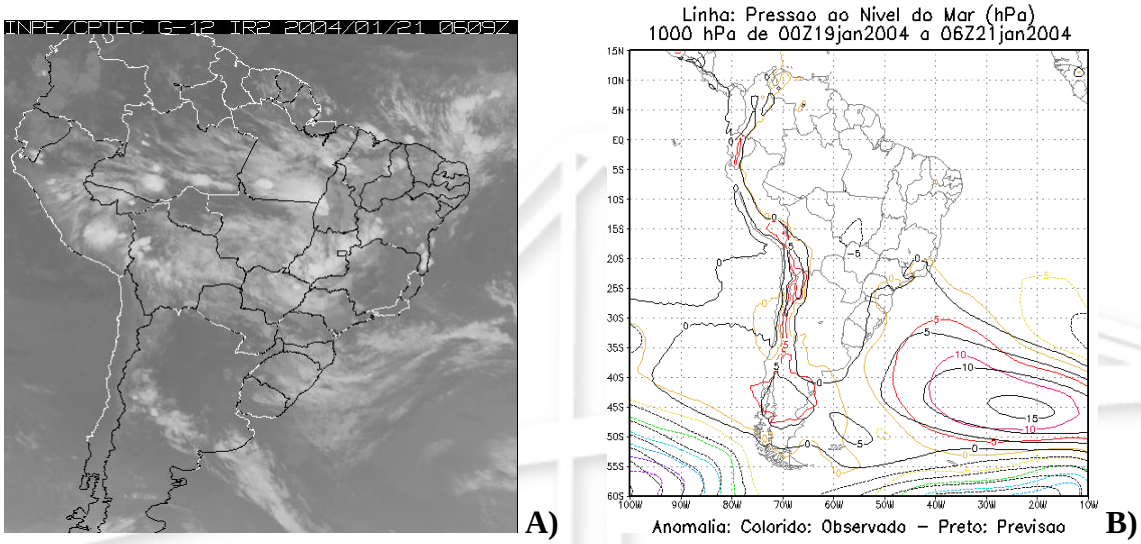
A energética modal utilizada é a mesma descrita em Bonatti e Bonatti (2004a e 2004b). Os modos normais podem ser obtidos conforme descrito em Kasahara e Puri (1981). Essas funções podem ser utilizadas na análise de campos tridimensionais (Kasahara e Puri, 1981) e também no

estudo da partição de energia entre os modos verticais e horizontais, como mostra Andrade (1994). Pode-se também estudar a interação entre os modos verticais e entre os modos horizontais através dessa metodologia.

Os dados a serem utilizados são análises T254L64 provenientes do NCEP e re-análises do ERA40 do ECMWF para a climatologia.

RESULTADOS

Entre os dias 20 e 21 de janeiro de 2004 foi observada a passagem de uma LI sobre o a parte sul da região Amazônica como mostrado na imagem de satélite na figura 1A. Nota-se na divisa dos estados do Para e Tocantins um centro de atividade convectiva intenso caracterizando um sistema de baixa pressão associado à extremidade leste da linha.



A) **B)**

Figura 1: Imagem GOES no canal Infravermelho do dia 21/01/2004 às 06:09 UTC (A) e anomalias observada e prevista para o mesmo dia às 06 UTC.

O MCGA do CPTEC/INPE foi utilizado na resolução T254L64 com grade reduzida, integração euleriana e convecção do tipo Kuo. A figura 1B mostra os campos de anomalias pressão à superfície observada e prevista após 1,5 dias a partir do dia 20/01/2004, 00 UTC. Nota-se que o modelo reproduz bem o campo de anomalia. A tabela 1 apresenta os índices estatísticos calculados. Esses índices estatísticos mostram valores semelhantes aos dos modelos operacionais, o que valida o modelo para similar o fenômeno em estudo.

A figura 2 mostra a porcentagem de energia para os modos verticais em 3 classes: a) modos com alturas equivalentes (H_E) entre 600 m e 10 km (referenciada como modo externo – ME); b) modos com H_E entre 100 m e 600 m (modo interno tropical – MIT) e c) H_E entre 10 m e 100 m (modo interno de baixos níveis – MIB). Estas classes estão definidas conforme Bonatti e Bonatti (2004a). Nota-se pela figura 2 que a maior parte da energia está na classe MIT, porém a classe ME tem máximos em especial entre 67^{O}W e 48^{O}W e 14^{O}S e 6^{O}S, coerente com a convecção como mostrado na figura 1A. É interessante ressaltar que a classe MIB tem mais energia ao norte dessa

região e em geral é maior que a ME, mostrando o caráter baroclínico e a importância dos baixos níveis na definição deste sistema.

Tabela 1: Estatísticas para a performance do MCGA para a área da figura 1B.

Variável	Nível (hPa)	Cor	Viés	EQM	Unidade
z	**500**	**0,97**	**5,01**	**13,7**	**m**
P_S	**_**	**0,96**	**-0,20**	**1,45**	**hPa**
T_V	**925**	**0,87**	**-0,71**	**1,55**	**K**
AP	**_**	**0,87**	**-0,77**	**3,88**	**kg m^{-2}**
u	**850**	**0,86**	**-0,58**	**3,07**	**m s^{-1}**
u	**250**	**0,95**	**-0,58**	**4,18**	**m s^{-1}**
v	**850**	**0,75**	**-0,43**	**2,82**	**m s^{-1}**
v	**250**	**0,90**	**0,61**	**4,23**	**m s^{-1}**

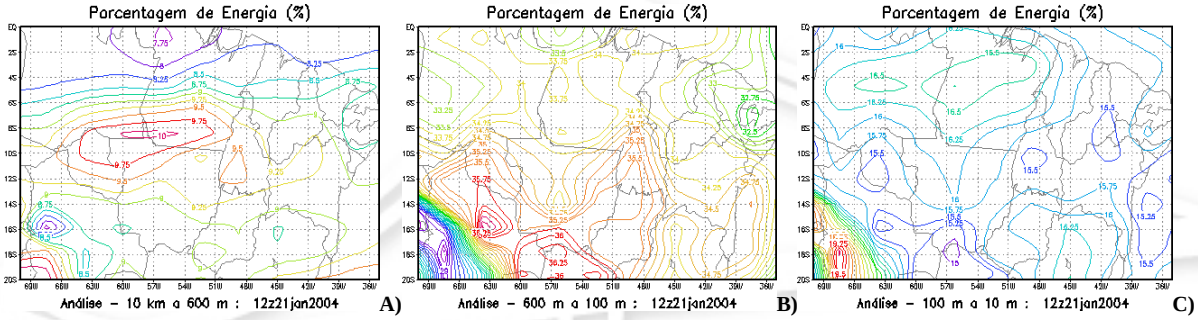


Figura 2: Porcentagem de energia para as classes ME (A), MIT (B) e MIB(C).

A figura 3 traz as interações de energia entre os modos da classe ME com a MIT e entre os próprios modos da MIT. As demais interações são de importância menor. Nota-se que há interações importantes entre os modos mais externos e internos (figura 3A) principalmente ao sul da LI. Há também muita interação em geral entre os modos da própria classe MIT (figura 3B), mostrando a forte atividade desse tipo de modos na região da LI, porém com valores maiores também ao sul.

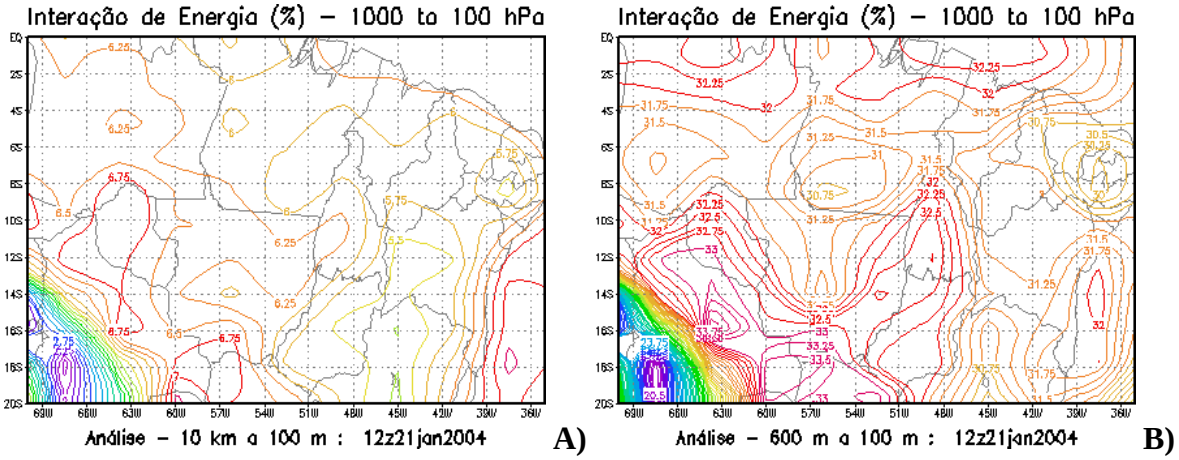


Figura 3: Interações de energia entre as classes ME e MIT (A) e na própria MIT (B).

A figura 4 traz a porcentagem de energia para os modos horizontais de Rossby (Rb), os modos de Kelvin (Kv). A energia na classe MIT (B e E) domina tanto para Rb como para Kv, sendo que para Rb a dominância é maior mais ao sul e para Kv mais na região equatorial. Para a classe ME (A e D), Kv tem valores máximos no NE do Brasil com um prolongamento que chega ao estado do Acre, enquanto que as características de Rb são semelhantes à da classe MIT, embora tanto Rb quanto Kv da ME tenham valores de porcentagem de cerca de 1/3 da classe MIT. Interessante notar que a classe MIB tem comportamento semelhante à classe MIT, com valores de cerca do dobro da classe ME, mostrando novamente a importância dos baixos níveis na caracterização do sistema.

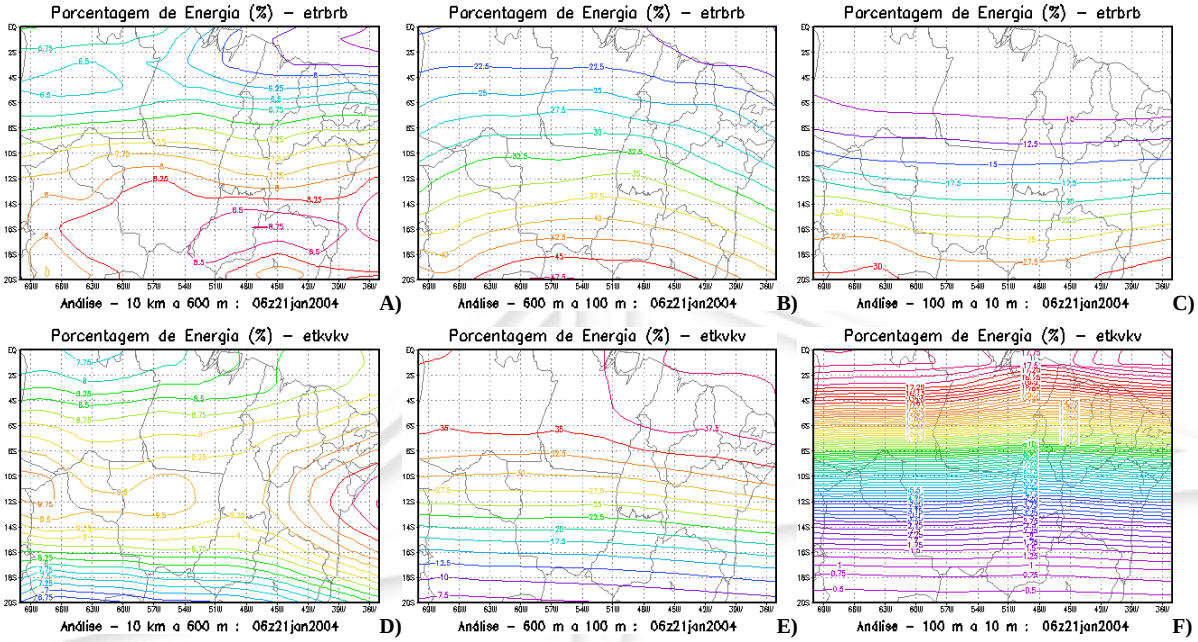


Figura 4: Porcentagem de energia para as classes ME (A, D), MIT (B, E) e MIB (C, F) e para os Modos de Rossby (A, B e C) e Kelvin (D, E e F).

Na figura 5 é mostrada a interação de energia entre os modos Rb e Kv para as classes ME (A), MIT (B) e MIB (C). Em geral há interferência positiva na parte sul da região e negativa na parte norte, porém a classe MIT domina em geral, a classe MIB tem valores de interferência acima da classe ME em geral.

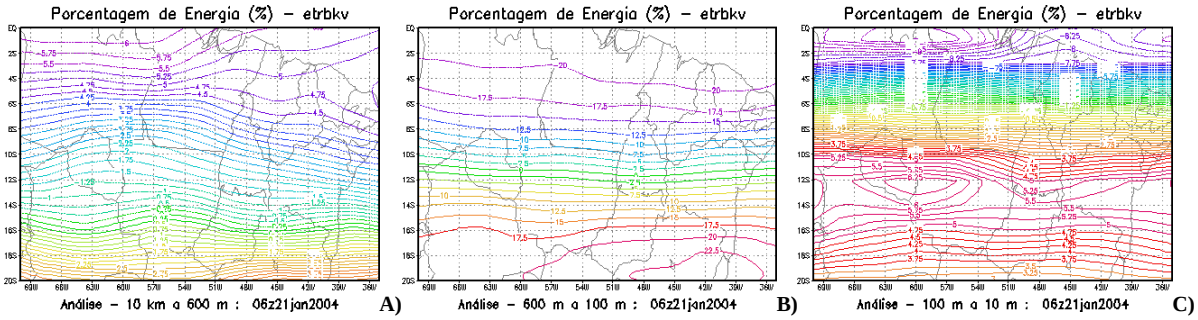


Figura 5: Interação de energia entre os modos Rb e Kv para as três classes.

CONCLUSÕES

É obtido que os modos verticais da classe 2 dominam e que as suas interações são importantes, sendo que as interações entre a classe 1 e 2 também são relevantes. Para os modos horizontais Rossby e Kelvin dominam para a classe 2 e suas interações. Na simulação deste caso de linha de instabilidade o modelo reproduz relativamente bem o fenômeno na escala de dados disponíveis. Os índices estatísticos calculados mostram valores semelhantes aos dos modelos operacionais. Estudos mais detalhados devem ser realizados para se determinar as implicações dos resultados aqui diagnosticados.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte da Bolsa Produtividade em Pesquisa do CNPq, Processo Nº 300.286/1992-9 (NV).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, R.A. **Análise das trocas de energia entre modos verticais e horizontais, em resposta a fontes tropicais de calor de grande escala**. São José dos Campos, SP, 1994, 331p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.

Bonatti, G. R., Bonatti, J. P. Análise observacional e de simulação numérica da partição de energia em modos verticais: estudo de caso de nuvem vírgula invertida sobre a América do Sul In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, CE. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. CD-ROOM*, 2004a.

Bonatti, G. R., Bonatti, J. P. Análise observacional e de simulação numérica da partição e interação de energia entre os modos horizontais: estudo de caso de nuvem vírgula invertida sobre a América do Sul In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, CE. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. CD-ROOM*, 2004b.

Bonatti, J.P. Modelo de circulação geral do CPTEC. **Climanálise Especial 10 anos, 26,** outubro 1996, 5p, http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/bonatti.html

Cohen, J.C.P.; Silva Dias, M.A.F.; Nobre, C.A. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. **Climanálise**, **4(11)**: 34-40, 1989. (Boletim de Monitoramento e Análise Climática disponível através de solicitação pelo e-mail: climanalise@cptec.inpe.br)

Cohen, J.C.P.; Silva Dias, M.A.F.; Nobre, C.A. Environmental Conditions Associated with Amazonian Squall Lines: A Case Study. **Monthly Weather Review**, **123(11)**: 3163-3174, 1995.

Kasahara, A.; Puri, K. Spectral representation of three dimensional global data by expansion in normal mode functions. **Monthly Weather Review, 109 (1):** 37-51, 1981.

Kinter, J.L. et al **The COLA atmosphere-biosphere general circulation model Volume 1: Formulation.** Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies. Calverton, MA, COLA Staff, Report N.o 51, October 1997.