

GERAÇÃO DE ENERGIA PELAS FONTES DE CALOR TROPICAIS EM UM MODELO BAROCLÍNICO ESPECTRAL GLOBAL USANDO FUNÇÕES DE HOUGH

José Paulo Bonatti
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC

ABSTRACT

It is analysed the vertical and horizontal structures of the tropical heat sources with emphasis over South America. The available potential and total energies generations are discussed after the time integration of the model forced by a prefixed heat source obtained from the outgoing longwave radiation NCEP climatological reanalysis dataset.

1 - INTRODUÇÃO

Há três regiões de convergência/convecção que influenciam direta e localmente o Brasil: Amazônia (CAMZ) e Zona de convergência da América do Sul (ZCAS), principalmente no verão, e a zona de convergência intertropical (ZCIT). Também influenciam remotamente a zona de convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e a região de convergência/convecção da Indonésia (CIND), principalmente em anos de El-Niño. Além disso, existem indicações de que a região de convecção da África (CAFR) poderia afetar a região do Atlântico tropical e o norte/NE do Brasil. Portanto, é muito importante um bom entendimento desses processos para que se possa modelá-los adequadamente e obter previsões melhores principalmente sobre a região tropical da América do Sul.

É utilizado um modelo espectral global, baseado em funções de Hough (MFH), para estudar a resposta à transferência remota de energia associada às fontes de calor tropicais. O modelo é baroclínico, não-linear e espectral na dimensão vertical através do uso de solução analítica da equação da estrutura vertical. Este tipo de procedimento permite a análise das trocas de energia entre os modos verticais e os horizontais. Para uma descrição completa do MFH veja Andrade (1994).

2 - RESULTADOS

Utilizou-se o MFH com resolução horizontal romboidal 31 e 5 modos verticais (20 níveis), para estudar a resposta atmosférica a fontes tropicais de calor. Os dados utilizados são as reanálises do NCEP. O estudo das trocas de energia entre os modos verticais e sua propagação meridional exige a presença de vento zonal com cisalhamento vertical. Para isso considerou-se um campo médio zonal observado e inicializado pelo método dos modos normais não-linear diabático. As fontes de calor foram dimensionadas com forma e posição comparáveis à convecção observadas nas regiões tropicais (CAFR, CIND e CAMZ), durante o verão do Hemisfério Sul, tomando-se como base a radiação de onda longa climatológica para os meses de dezembro a janeiro e o modelo foi integrado por 5 dias.

Para se ter um melhor entendimento das fontes de calor tropicais, a figura 1 traz a média de 15 anos da reanálise do NCEP, de dezembro a fevereiro, da radiação de onda longa emitida pela atmosfera no seu topo (ROLE). Valores baixos de ROLE, principalmente na região tropical estão associados com regiões de atividade convectiva, que representam as fontes de calor por liberação de calor latente. Nota-se claramente as três principais fontes de calor (CAMZ, CIND, CAFR); além disso, há um alongamento a NE da CAMZ e da CIND, associado à ZCIT; também há um alongamento a SE da CAMZ e da CIND, associados, respectivamente, à ZCAS e ZCPS. Há um outro mínimo de ROLE sobre o Oceano Índico que, geralmente, não é discutido na literatura.

Para uma análise mais detalhada das fontes de calor, foi calculado, por resíduo, o aquecimento/resfriamento diabático utilizando a equação da energia termodinâmica. A figura 2a apresenta a média vertical desse aquecimento, que corresponde muito bem com a estrutura da ROLE; além disso, pode-se notar regiões onde prevalecem o resfriamento radiativo e por subsidência através da compressão adiabática. A estrutura vertical média zonal do aquecimento diabático está mostrada na figura 2.b, onde as regiões com aquecimento estão associadas com movimento ascendentes e as com resfriamento com movimentos descentes nos trópicos e o reverso em latitudes médias e altas (fig. 2b). Essa característica era esperada pois nos trópicos domina a liberação de calor latente, e em latitudes médias, o aquecimento por compressão diabática é importante. Na região tropical apare dois máximos de aquecimento: um em torno de 600 hPa, que era esperado, e um outro em torno de 200 hPa. Esse segundo máximo em altos níveis surge pois o movimento vertical é máximo em níveis muito altos nessa região, causando uma excessiva advecção vertical de temperatura provocando um aquecimento alto. Essa constatação parece ser um problema da reanálise do NCEP. A figura 2c mostra a média global do aquecimento residual diabático, com um máximo em torno de 650 hPa e resfriamento acima de 450 hPa. As figuras 2d e 2e mostram as estruturas médias para a fonte de calor da região da América do Sul; as características são semelhantes à média global, com exceção de que as intensidades são maiores e não há resfriamento em nenhum nível, na média da área.

Para estudos de modelagem que utilizem fontes de calor pré-fixadas e mais próximas possível às observadas, pode-se estabelecer uma relação simples, linear, entre a ROLE e a fonte em questão. A figura 3a apresenta o resultado desse processo, com a estrutura horizontal da fonte de calor tropical. A figura 3b traz a estrutura vertical utilizada no modelo; nota-se que o máximo do aquecimento está em 350 hPa devido à estrutura modos verticais, isto é, para que a recomposição seja a desejada utilizando poucos modos verticais, é necessário que o máximo esteja nesses níveis. Utilizou-se, neste caso, uma fonte constante no tempo devido a condição inicial e a forma horizontal da fonte de calor serem climatológicas. Essas configurações tanto na horizontal, vertical quanto no tempo são construídas de modo que a integral seja unitária em seu domínio, sendo que uma constante multiplicativa possa estabelecer o máximo aquecimento médio global.

A figura 4a traz a configuração do aquecimento residual diabático para uma condição inicial média zonal, baseada na climatologia da reanálise do NCEP. As características são bastante semelhantes à da figura 2b, porém apresenta intensidade maior. As figuras 4b-f apresentam características da fonte após a inicialização diabática por modos normais. Nota-se que a fonte de calor média vertical (fig. 4b) tem a forma da estrutura horizontal da figura 3a, porém apresenta resfriamentos principalmente ao norte das fontes de aquecimento. Na figura 4c verifica-se que a inicialização filtrou todos os aquecimentos e resfriamentos que não são tropicais, bem como reduziu consideravelmente o máximo secundário de altos níveis. As figuras 4d, 4e e 4f tem características bastante semelhantes às das figuras 2c, 2d e 2e, porém com variações mais suaves e com o máximo de altos níveis bastante reduzido.

Pela figura 5a nota-se que a geração de energia potencial total por aquecimento, após cinco dias de integração do modelo, mostra basicamente a estrutura horizontal da fonte de calor, como era esperado. Os modos horizontais dominantes são os de Rossby (fig. 5b) e de Kelvin (fig. 5c); as formas dessas geração são semelhantes a grosso modo, porém, em geral, a associada ao modo de Kelvin é mais intensa e com máximos mais próximos do Equador.

As figuras 6a-f trazem a geração de energia total após cinco dias de integração. A forma do campo total (fig. 6a) assemelha-se à estrutura horizontal da fonte pré-fixada, porém apresenta penetração meridional maior, apresentando regiões com decréscimo de energia, principalmente ao norte das fontes. Novamente, os modos horizontais de Rossby (fig. 6b) e de Kelvin (fig. 6c) dominam, porém há um grande resíduo (fig. 6f). Esse resíduo representa as regiões onde há interações entre os modos horizontais; nota-se regiões de interferência destrutiva ao norte (mais intensa) e ao sul das fontes e

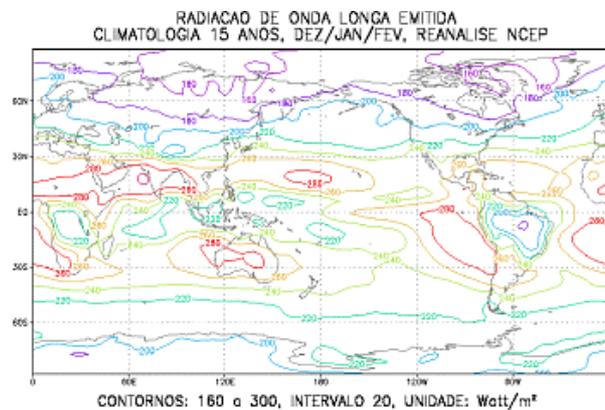
regiões de interferência construtiva sobre as fontes principalmente na geração de energia total. Essas regiões representam zonas onde as ondas estão se propagando e trocando energia não-linearmente entre si. Há que se ressaltar regiões de interferência construtiva onde não há fontes, a saber: sobre os prolongamentos a SE das fontes associadas à ZCPS e ZCAS; sobre o prolongamento a NE da ZCIT do Atlântico; e sobre o prolongamento a NO da CAMZ.

3 - CONCLUSÃO

Utilizando-se um modelo mecanístico relativamente simples simulou-se as trocas e geração de energia associadas as respostas a fontes de calor tropicais realistas. Obte-se as regiões de dominância das ondas de Rossby e de Kelvin, bem como onde as interações não-lineares entre elas são importantes.

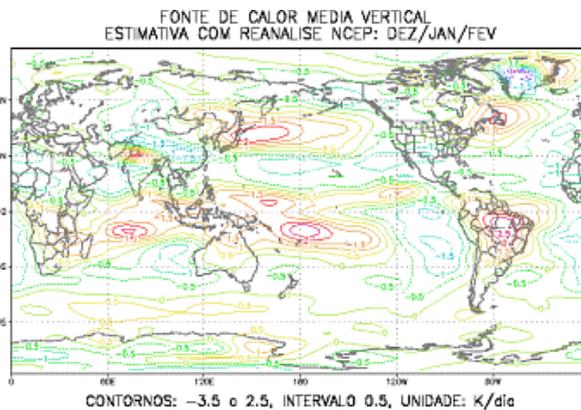
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, C. R. Análise das trocas de energia entre modos verticais e horizontais, em resposta à fontes tropicais de calor de grande escala. São José dos Campos, INPE, 1994. (INPE-5681-TDI/567)



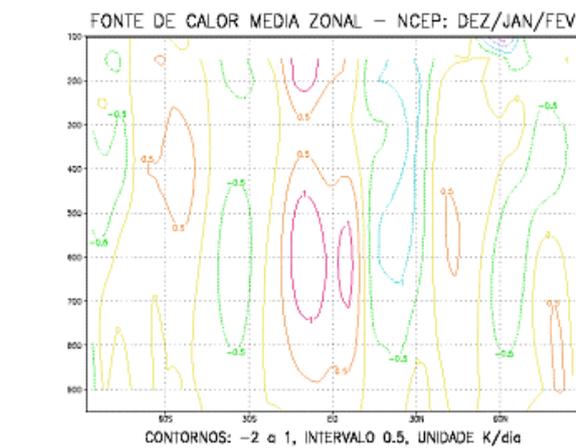
8402: 03.A/NE3

Figura 1



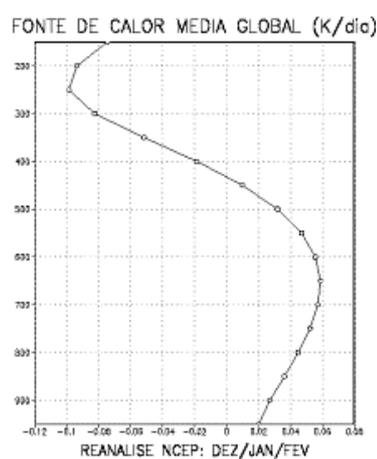
8402: 03.A/NE3

Figura 2a



8402: 03.A/NE3

Figura 2b



8402: 03.A/NE3

Figura 2c

FONTE DE CALOR MEDIA REGIONAL (BRASIL): DEZ/JAN/FEV

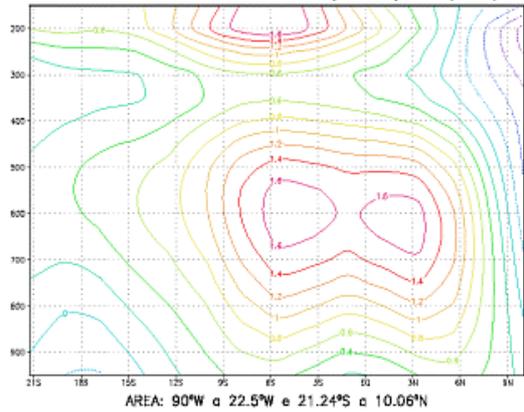


Figura 2d

FONTE DE CALOR MEDIA REGIONAL: DEZ/JAN/FEV

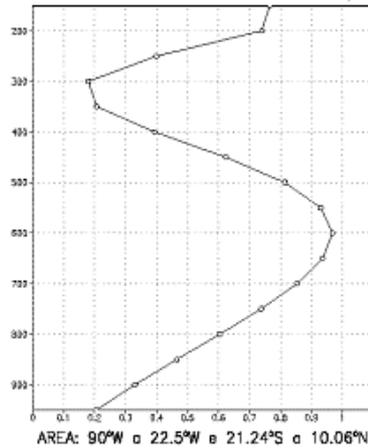


Figura 2e

FONTE DE CALOR EM FUNCAO DA RADIAÇÃO DE ONDA LONGA EMITIDA CLIMATOLOGIA 15 ANOS, DEZ/JAN/FEV, REANALISE NCEP

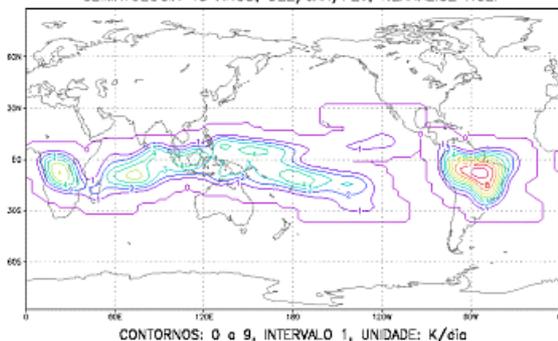
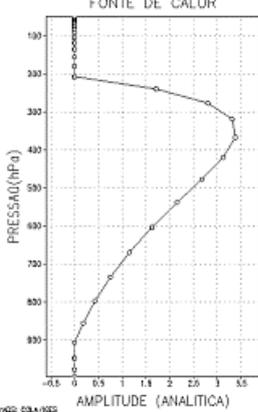


Figura 3a

ESTRUTURA VERTICAL FONTE DE CALOR



ESTRUTURA VERTICAL FONTE DE CALOR

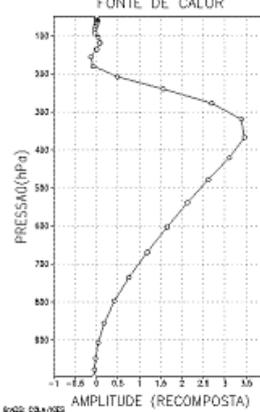


Figura 3b

FONTE DE CALOR (K/dia): CONDICAO INICIAL MEDIA ZONAL

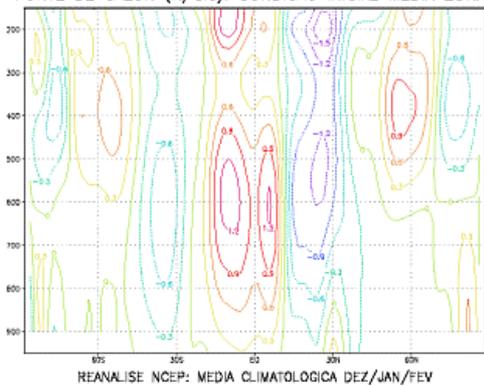


Figura 4a

FONTE DE CALOR MEDIA VERTICAL: CONDICAO INICIAL INICIALIZADA

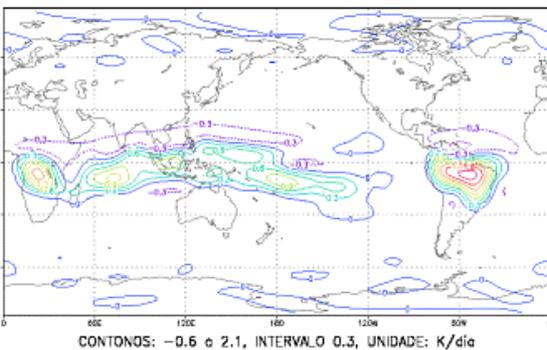


Figura 4b

FONTE DE CALOR MEDIA ZONAL: COND INIC INICIALIZADA

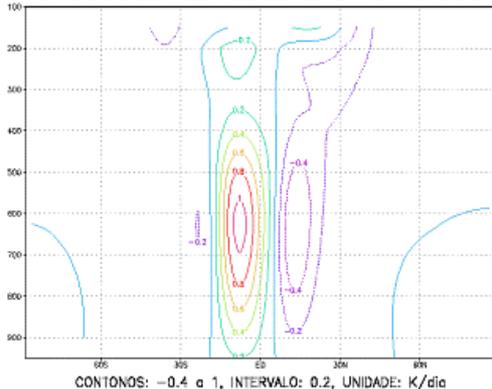


Figura 4c

FONTE DE CALOR MEDIA GLOBAL (K/dia)

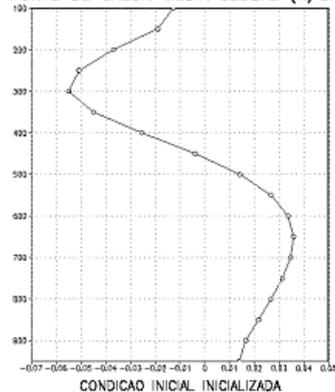
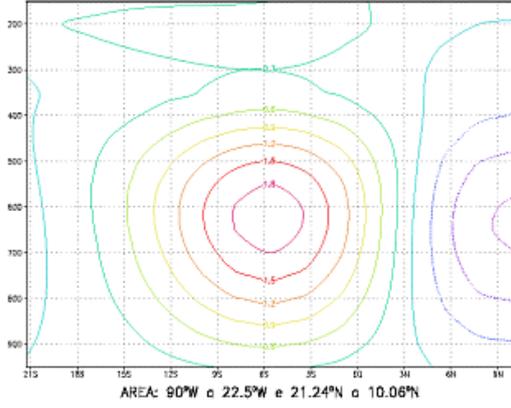


Figura 4d

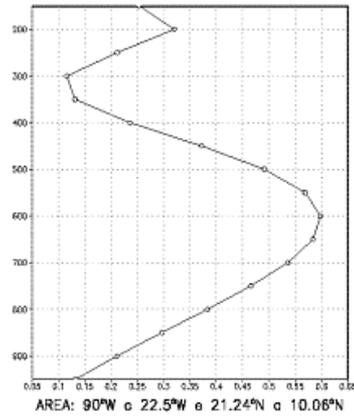
FUNTE DE CALOR MEDIA REGIONAL (BRASIL): C.IN. INIC.



SV02 COLA/NE3

Figura 4e

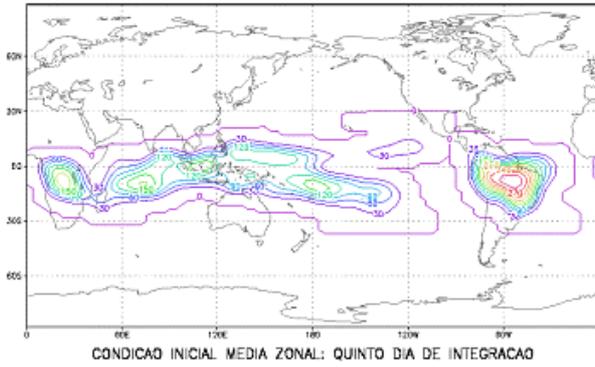
FUNTE DE CALOR MEDIA REGIONAL: C.IN. INIC.



SV02 COLA/NE3

Figura 4f

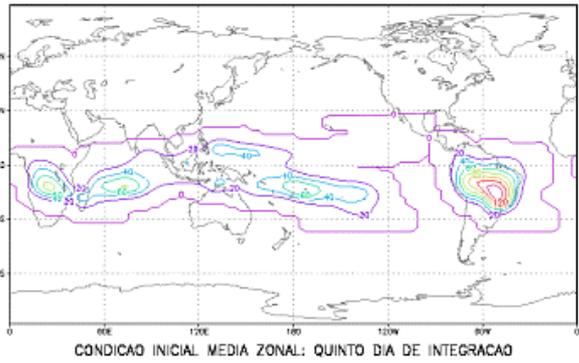
GERACAO DE ENERGIA POTENCIAL POR AQUECIMENTO: TOTAL



SV02 COLA/NE3

Figura 5a

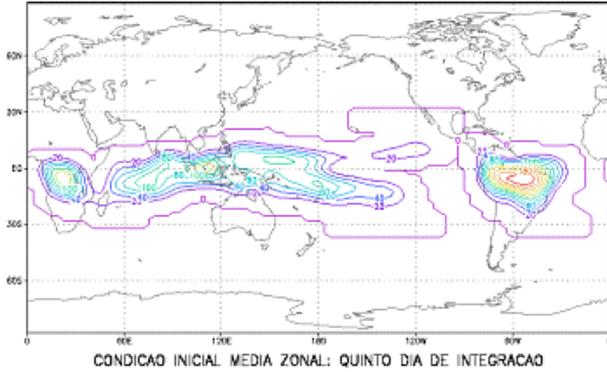
GERACAO DE ENERGIA POTENCIAL POR AQUECIMENTO: ROSSBY



SV02 COLA/NE3

Figura 5b

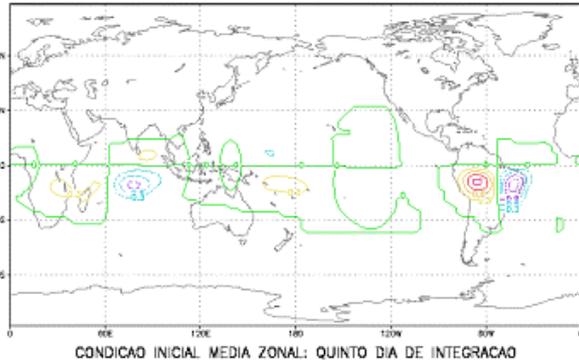
GERACAO DE ENERGIA POTENCIAL POR AQUECIMENTO: KELVIN



SV02 COLA/NE3

Figura 5c

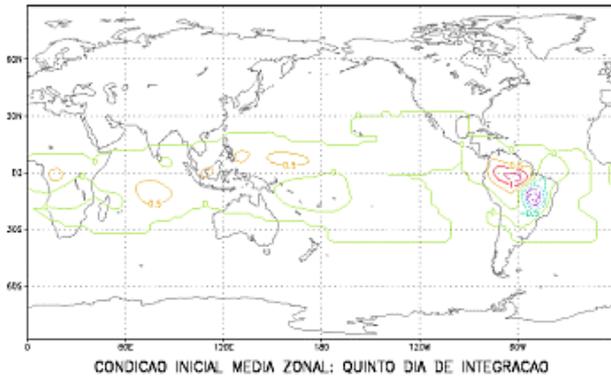
GERACAO DE ENERGIA POTENCIAL POR AQUECIMENTO: MISTA



SV02 COLA/NE3

Figura 5d

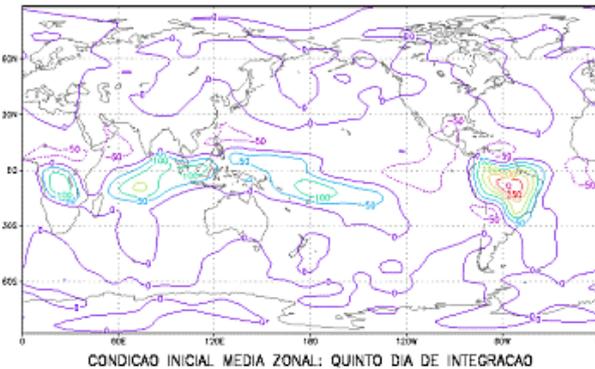
GERACAO DE ENERGIA POTENCIAL POR AQUECIMENTO: GRAVIDADE



SV02 COLA/NE3

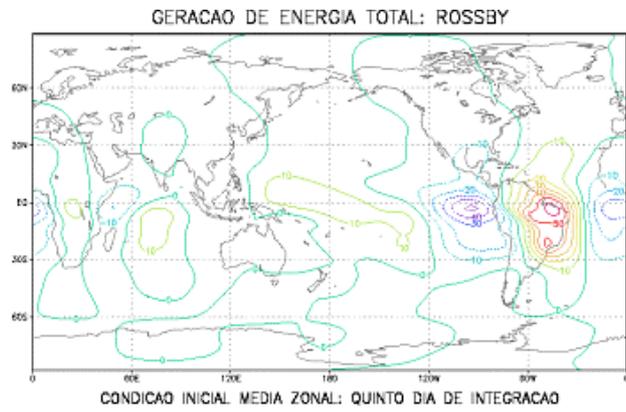
Figura 5e

GERACAO DE ENERGIA TOTAL: TOTAL



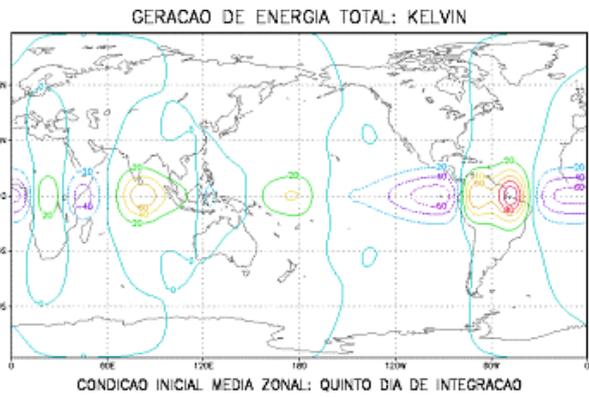
SV02 COLA/NE3

Figura 6a



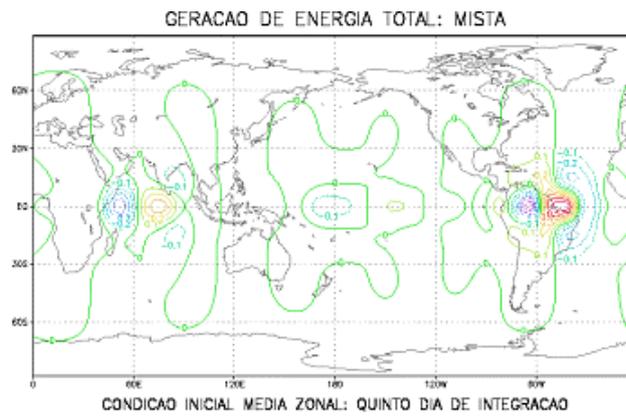
6402: 03.A/033

Figura 6b



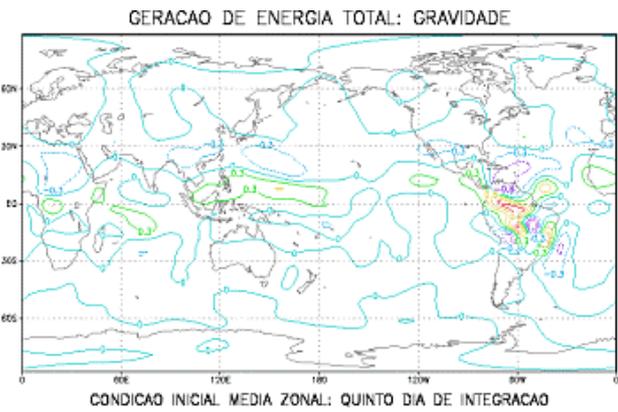
6402: 03.A/033

Figura 6c



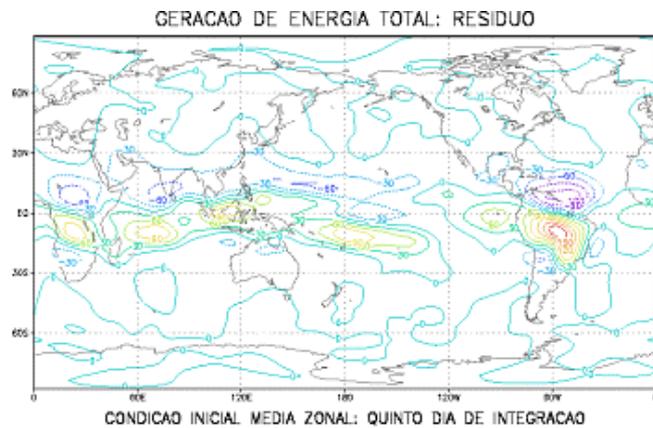
6402: 03.A/033

Figura 6d



6402: 03.A/033

Figura 6e



6402: 03.A/033

Figura 6f