

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

REANÁLISE REGIONAL 2000-2004 SOBRE A AMERICA DO SUL COM O MODELO RPSAS/ETA: DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E DOS PRODUTOS DEVIRADOS

José Antonio Aravéquia,
Dirceu Luis Herdies,
Luiz Fernando Sapucci,
Rita Valéria Andreóli de Souza,
Sérgio Henrique Soares Ferreira
Luis Gustavo G. de Gonçalves

1- Introdução

A caracterização dinâmica dos eventos atmosféricos atuantes em determinadas regiões somente poderá ser atingida com a geração de informações em alta resolução espacial e temporal a respeito do tempo e do clima da região em questão. Algumas bases de dados como a WorldClim (Hijmans et al, 2005) suprem de forma precária esta necessidade fornecendo informações climatológicas em ponto de grade, gerados através da interpolação de dados de estação. No entanto, em regiões onde existe uma escassez de dados convencionais, como é o caso da América do Sul, onde as observações são separadas por centenas ou até milhares de quilômetros, a geração de climatologia através de interpolação cria correlações fictícias entre regiões separadas por centenas de quilômetros de distância. Uma alternativa para suprir essa limitação das técnicas de interpolação é através da utilização de informações de reanálise. Atualmente, as reanálises se tornaram uma fonte principal de informação para entender os processos físicos e suas mudanças em regiões com dados esparsos. Dentre os conjuntos de reanálises disponíveis têm-se em escala global aquelas geradas pelos centros americanos e europeus (Kalnay, et al. 1996, Uppala et al, 2005) e em escala regional a reanálise sobre a América do Norte (Mesinger et al, 2006). Além da inclusão de dados derivados de satélite que têm uma distribuição espacial muito mais regular e refinada, a reanálise tem a vantagem de aproveitar a dinâmica e a física do modelo de previsão para propagar a informação das observações para os pontos onde não existem observações.

Com o objetivo de suprir a demanda de inúmeros projetos de pesquisa por dados meteorológicos com alta resolução espacial, nem sempre disponíveis por falta de uma rede de observação mais completa cobrindo o país e o continente sul-americano, foi realizado um experimento de reanálise regional foi realizado no intuito de construir uma base de dados regular sobre a América do Sul, especialmente na região Amazônica e na região do Jato de Baixos Níveis a leste dos Andes. Para isso foi utilizado o sistema de assimilação de dados regional RPSAS (*Regional Physical Space Analysis System*) com o modelo regional Eta (Mesinger et al, 1988 e Black, 1994).

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

O sistema de assimilação regional RPSAS é uma versão regional desenvolvida no CPTEC com o apoio do Global Modeling and Assimilation Office-GMAO da NASA, onde foi usado o núcleo de análise do PSAS (da Silva et al, 1995).

Neste trabalho são descritos os procedimentos para a execução desse experimento e a geração dos produtos derivados a partir da reanálise, que sintetizam as informações de maior demanda para o entendimento do tempo e clima na região da América do Sul.

As resoluções temporal e espacial dos dados da reanálise permitem diversos estudos e a geração de diversos produtos como por exemplo: Campos Mensais do Período de 2000-2004, avaliação do Ciclo Diurno do sistema assimilação/modelo, uso como Condições de Contorno para outros Modelos, avaliação do desempenho do Sistema RPSAS Eta.

2 - Descrição do Experimento

A geração da reanálise envolveu a criação de uma base de dados observados e de condições de contorno para todo o período desde 01 de janeiro de 2000 até 31 de dezembro de 2004. Foram realizadas 4 análises por dia, nos horários sinóticos de 00Z, 06Z, 12Z e 18Z, e previsões até 36 horas com saídas de 3 em 3 horas.

A resolução da grade horizontal do sistema é de 40 km, com 38 níveis verticais. As análises foram obtidas assimilando-se dados de satélite na forma de perfis recuperados de temperatura e umidade (retrievals ATOVS), dados de vento de satélite (Cloud Track Wind - CTW e Quikscat), dados convencionais de superfície (SYNOP e BUOY) além de dados de sondagens realizadas nos experimentos RACCI-LBA-2002 (Silva Dias et al, 2003) e SALLJEX-2002/2003 (Exchanges, 2004). A realização do experimento de reanálise permitiu a criação de um conjunto contínuo com 4 saídas diárias pelo período de 5 anos (2000-2004) com informações detalhadas de superfície e ar superior sobre a América do Sul.

A distribuição das observações assimiladas é espacialmente irregular como se pode observar nas figuras 1 e 2. A Figura 1 mostra a distribuição das observações de vento e geopotencial no nível de 850 hPa assimiladas pela análise de 12Z de 15 de setembro de 2002. A posição das observações de geopotencial, representada pelos quadrados coloridos, mostra uma boa cobertura sobre todo o domínio, entretanto estas observações são primordialmente de sondagens recuperadas de satélite, que apresentam erro de observação maior que o erro de sondagens obtidas por radiossondagens. A distribuição de observações de vento segue basicamente o posicionamento de poucas radiossondas, realizadas em alguns aeroportos, e das recuperações de vento através de

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

imagens de satélite (CTW). As observações de vento através de imagens de satélite são obtidas pela identificação do deslocamento de nuvens, portanto se concentrando ao entorno de áreas de grande nebulosidade.

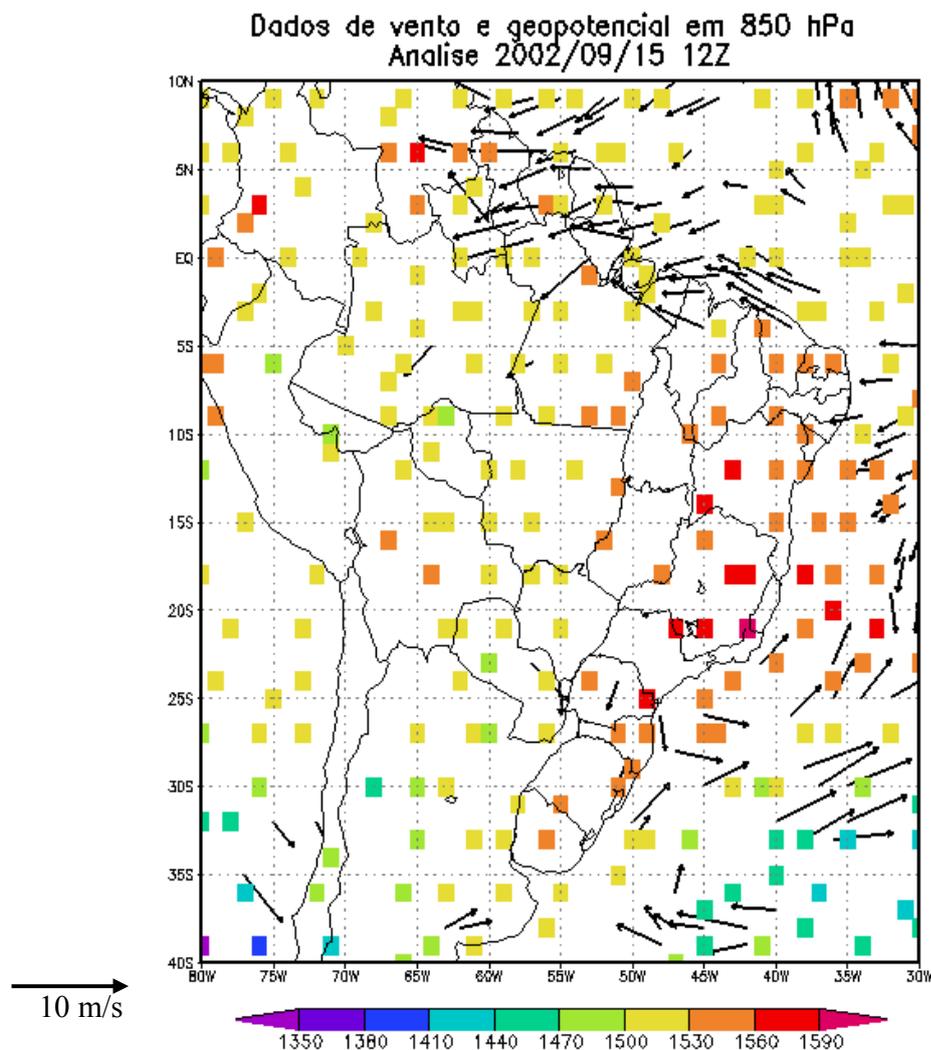


Figura 1 – Distribuição típica de dados assimilados no nível de 850 hPa. Os dados de geopotencial (retângulos coloridos) são predominantemente de *retrievals* ATOVS, e os dados de vento (setas) são predominantemente de CTW.

A Figura 2 apresenta um exemplo da distribuição de dados de vento e geopotencial do nível de 250 hPa assimilados, onde a nebulosidade de altos níveis ocasionada por um convectivos é utilizada para detecção do vento.

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

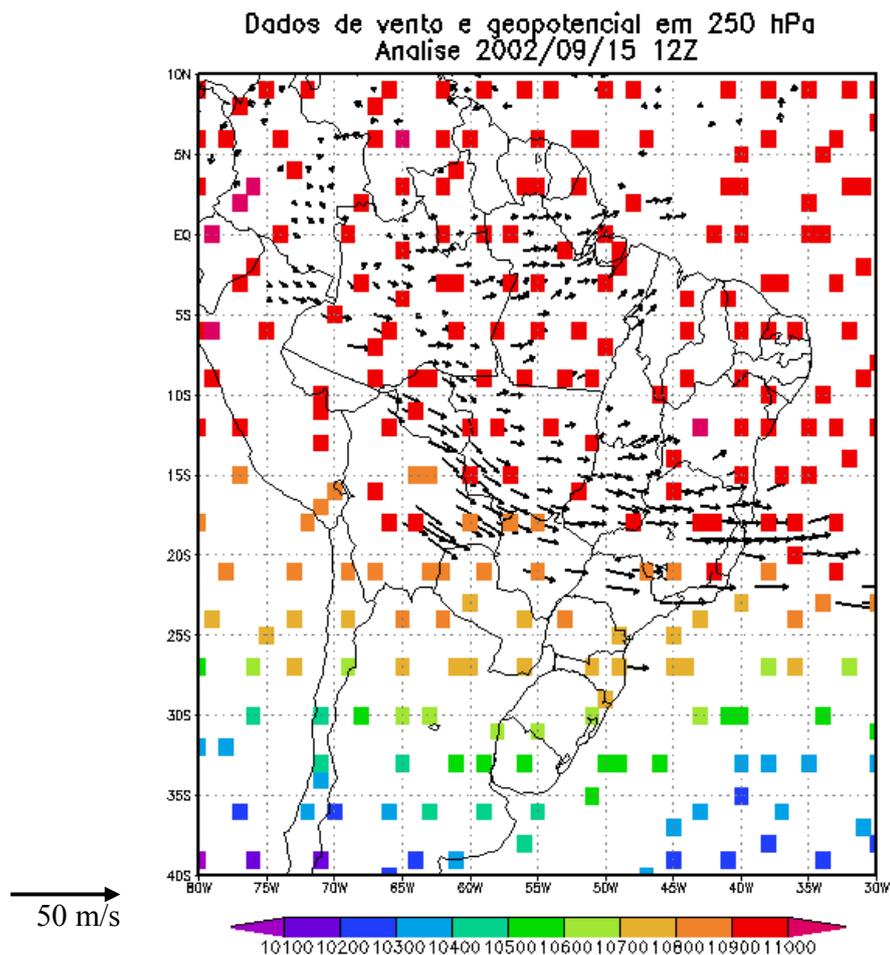


Figura 2 – Distribuição típica de dados assimilados no nível de 250 hPa. Os dados de geopotencial (retângulos coloridos) são predominantemente de *retrievals* ATOVS, e os dados de vento (setas) são predominantemente de CTW.

A distribuição dos dados por fonte é mostrada na figura 3(a) e a distribuição por variável assimilada é mostrada na figura 3(b).

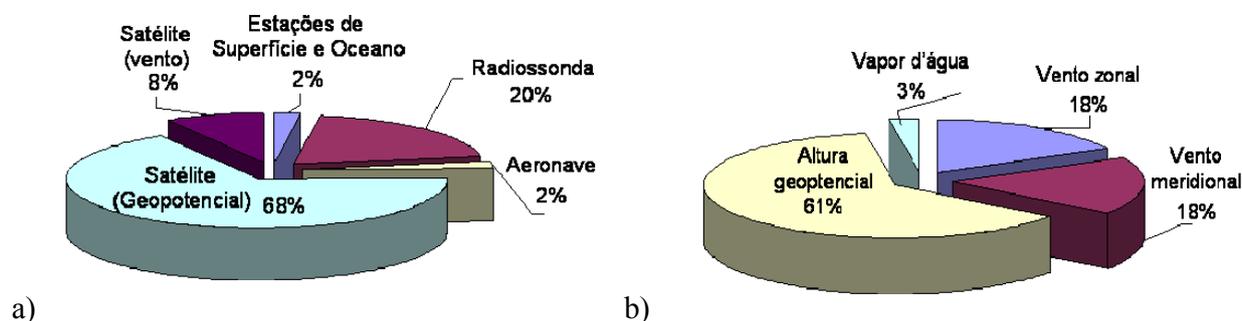


Figura 3 – Distribuição típica percentual dos dados assimilados na reanálise regional:(a) para cada da fonte de observação e (b) para cada variável assimilada.

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

A quantidade de dados disponíveis para a análise é um dos fatores primordiais tanto para a correta determinação dos campos da análise quanto para o acerto das previsões realizadas a partir da condição inicial dada pela mesma. A figura 4 mostra a quantidade total de dados utilizados em cada análise em função do tempo. Percebe-se claramente uma variação entre cada horário em torno de 50%. Isso ocorre devido ao fato de que a coleta de dados nas estações convencionais ocorre primordialmente nos horários sinópticos de 12Z e 00Z, nos horários de 06Z e 18Z poucas estações fazem a coleta de dados, sendo realizadas principalmente nas estações de aeroportos.

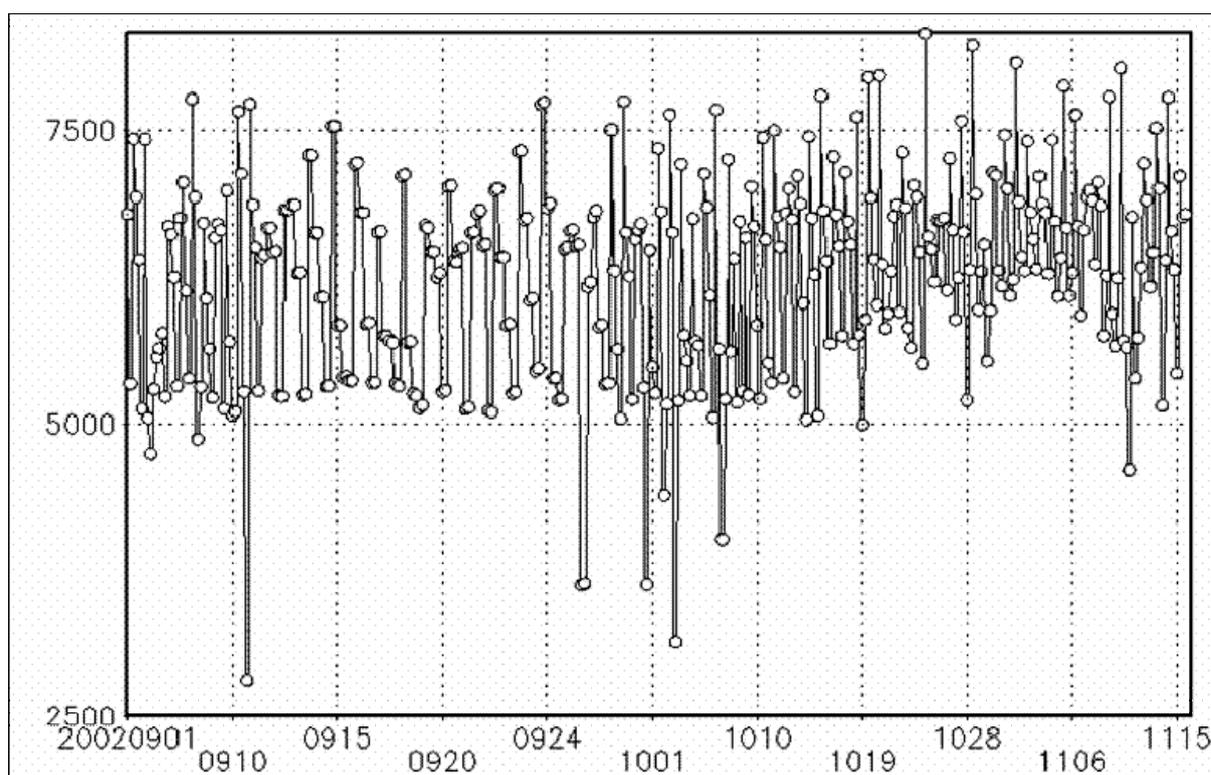


Figura 4 – Total de observações assimiladas a cada ciclo de análise em função do tempo para o período de 01 de setembro a 15 de novembro de 2002. A data no eixo das abscissas é mostrada no formato mês, dia, com dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia.

Nos horários de 06Z e 18Z os dados fornecidos à assimilação são primordialmente oriundos de observações de satélite, as quais apresentam erros associados maiores que observações de estações convencionais. Apesar disso, as análises nestes horários têm grande importância, devido ao fato de integrarem observações no ciclo de assimilação e assim, melhorarem o *first guess* (primeira aproximação, neste caso previsão de 6 horas do modelo) disponível para as análises dos horários de 00Z e 12Z.

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

O processo de reanálise é realizado de forma cíclica em que partindo-se de uma análise, o modelo regional Eta é integrado no tempo para gerar previsões e também o *first guess* utilizado pela análise seguinte, que é realizada seis horas após a anterior, tomando como dados observados todos os aqueles disponíveis medidos em uma janela de tempo desde 3 horas antes do horário da análise, até 3 horas após o horário da análise, e assim sucessivamente até completar os 5 anos da reanálise.

As condições de contorno utilizadas para a integração do modelo Eta foram tomadas da análise operacional do centro americano NCEP, fornecendo valores de condição de contorno mais próximas dos valores das observações do que é usado para previsão de tempo devido a necessidade da previsão operacional ser entregue em tempo de ter utilidade como previsão propriamente dita.

Os resultados disponibilizados pela reanálise são dados pós-processados em grades horizontais regularmente espaçadas em latitude e longitude cobrindo toda América do Sul, desde 50.2° Sul até aproximadamente 10° Norte, desde a longitude 277° Leste (equivalente a 83° Oeste) até 330° Leste (equivalente a 30° Oeste).

O processamento para realização da reanálise foi realizada no ambiente de super-computação do CPTEC com a utilização de 100% do tempo de máquina de 4 processadores do super-computador NEC modelo SX6 durante o período aproximado de 120 dias. Foi também utilizado como forma de disponibilização dos dados de entrada (observações e condições de contorno) um servidor de arquivos com 1 Tera Byte de disco. Durante cada ciclo de processamento, o sistema de assimilação RPSAS demandou 1Gb de memória RAM do NEC SX6, operando em modo paralelo MPI (Message Passing Interface). O modelo regional Eta, se utilizava de aproximadamente 4Gb, operando em modo paralelo usando OpenMP (Open Multi-Processing).

O conjunto de dados da reanálise permite estudos com diferentes enfoques, como estudos sobre a estrutura vertical do fluxo de umidade, que é um importante mecanismo de alimentação de sistemas de mesoescala, complexos convectivos que ocorrem na região Sul e Sudeste do Brasil, no Paraguai e na Argentina. A figura 5 apresenta a secção vertical no sentido longitudinal, na latitude de 18S do vento e da umidade específica média sazonal representativa das estações de primavera e verão do Hemisfério Sul dos anos de 2002-2003 e de 2003-2004. Pode-se verificar alteração significativa no padrão dos vetores de vento e na intensidade da umidade específica entre a primavera e o verão. Pode-se também notar uma diferença na intensidade da umidade específica entre o verão de 2002-2003 e de 2003-2004, principalmente em baixos níveis entre as latitudes de 65W e 50W, mostrando que no verão havia mais umidade disponível nesta latitude, o que ocorreu

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

provavelmente devido ao escoamento de noroeste com intensidade de até 10 m/s como pode-se inferir pelo tamanho das setas (figura 5b).

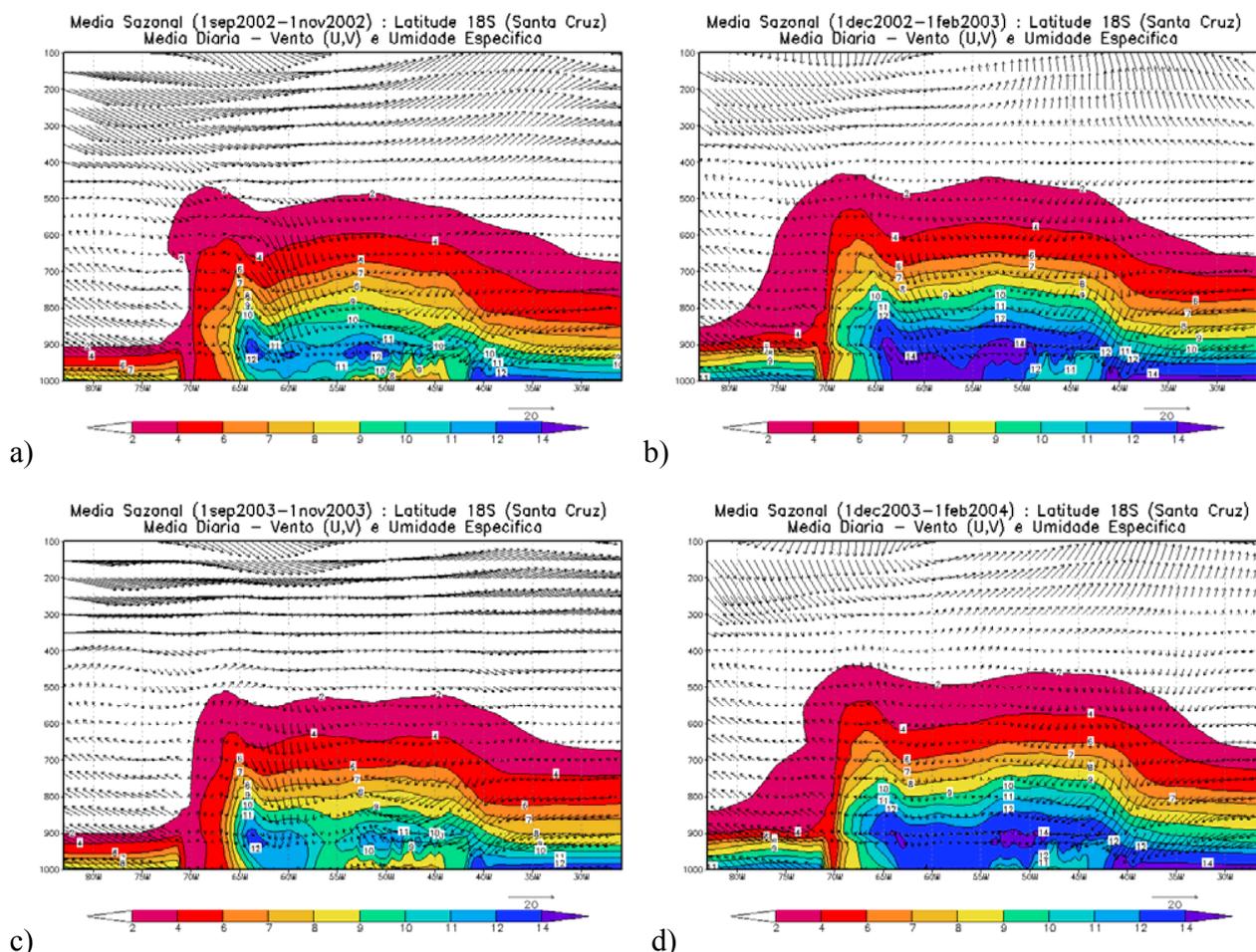


Figura 5 – Secção vertical-longitudinal da média sazonal do vetor vento horizontal (setas) e da umidade específica para setembro-novembro de 2002 (a), dezembro de 2002 - fevereiro de 2003 (b), setembro-novembro de 2003 (c) e dezembro de 2003-fevereiro de 2004 (d), na latitude de 18 Sul.

3- Produtos da Reanálise

Durante a fase de projeto e realização do experimento de reanálise surgiu da comunidade científica a demanda por alguns produtos derivados dos resultados das análises e previsões. Para suprir esta demanda foram calculadas algumas variáveis médias, que sintetizam os resultados e são de fácil acesso devido ao fato de que estes resultados demandam menor volume de dados. Este conjunto de variáveis descrito na Tabela 1 apresenta produtos calculados a partir da Reanálise gerada para o período de 2000 a 2004. Dentre os produtos disponíveis têm-se campos

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

climatológicos, médias diárias e mensais, precipitação diária, temperaturas máximas, mínimas e médias e quantidade de dias sem ou com chuva no mês. A seguir apresenta-se a descrição sucinta de como estes produtos foram gerados:

Tabela1 – Produtos derivados da Reanálise Regional

albe	- albedo (%)
norain	- número de dias sem chuva no mês (n dias)
prec	- precipitação acumulada do mês (mm/dia ou Kg/m ² /day)
raindy	- número de dias com chuva no mês (n dias)
rh2m	- umidade relativa do ar a 2 metros (%)
smav	- disponibilidade de umidade do solo (valores entre 0 e 1 : é a razão entre o disponível e o valor de saturação (máximo possível))
tmax	- média mensal da temperatura máxima diária (K)
tmedeq	- temperatura média (K)
tmin	- média mensal das temperatura mínima diária (K)
ussl	- umidade do solo a superfície (valores 0 e 1: é a razão entre o disponível e o valor de saturação (máximo possível))
uzrs	- umidade do solo na zona da raiz (valores 0 e 1: é a razão entre o disponível e o valor de saturação (máximo possível))

3.1 - Campos Médios Mensais

Para as variáveis indicadas na Tabela 1, foram calculados valores diários e mensais. Além disso, foram calculados os campos médios de cada mês, ao que se chamou de climatologia. Para todas as variáveis é importante salientar que a climatologia foi calculada sobre o conjunto de cinco anos (por exemplo, cinco “Janeiros” entre 2000-2004), e portanto tem limitações de representatividade. Uma climatologia mais representativa exige um conjunto em torno de 35 anos.

3.2 Dias com Chuva

A contagem dos dias com chuva em cada mês é uma das variáveis disponíveis, chamada de RAINDY no mês. Neste campo, em certas regiões para fevereiro pode-se ter a variável RAINDY com valores maiores que 28, pois nesse período tivemos 2 anos bi-sexto. O critério usado para esta variável foi que para precipitação maior que 1 mm considera-se que houve chuva naquele dia. Se a precipitação foi menor que 1 mm o dia foi considerado sem chuva.

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

3.3 - Dias sem Chuva

O cálculo dos dias sem chuva no mês (NORAIN) foi realizado diretamente o número de dias do mês subtraindo-se o valor dos dias com chuva (RAINDY).

3.4 - Precipitação Acumulada em 24 horas.

O campo de precipitação é um produto da reanálise regional dado para a previsão do modelo entre 12 e 36 horas de integração, a partir da análise de 00Z, sendo seu valor acumulado válido para as 12Z, possibilitando assim, a comparação com observações do SYNOP. O modelo possibilita o transporte das informações das observações no tempo, através das equações da dinâmica e das parametrizações dos fenômenos da física. Assim, a precipitação é dependente da física e da dinâmica do modelo, além das condições iniciais dada pela análise dos dados.

No caso da reanálise, foi incorporado ao sistema um filtro digital (Lynch et al, 1997) para remoção de valores espúrios, os quais podem influenciar o desempenho do modelo. Assim, algumas ondas responsáveis por causar precipitação na região tropical têm sua amplitude amortecida pelo filtro, causando uma redução da taxa de precipitação nas primeiras horas de integração do modelo. Por conseguinte é de se esperar um viés negativo na precipitação da reanálise.

3.5 - Temperatura Máxima e Mínima

Os campos de temperatura máxima e mínima foram obtidos a partir do valor máximo e do valor mínimo, respectivamente, encontrados para a temperatura no conjunto de 8 saídas diárias, que incluem, análises de 00Z, 06Z, 12Z e 18Z e previsões de 03 horas a partir de cada uma destas análises. Tais previsões têm sua validade em 03Z, 09Z, 15Z e 21Z.

3.6 - Temperatura Média

Os campos de temperatura média foram calculados a partir de duas metodologias, gerando as variáveis definidas como t_{medeq} e t_{medave} .

A t_{medeq} foi calculada segundo a equação:

$$t_{medeq} = \frac{tp_{2m}(09Z) + t_{\max} + t_{\min} + 2 \cdot tp_{2m}(21Z)}{5}, \text{ onde } tp_{2m} \text{ é a temperatura do ar a}$$

2 metros de altura, como a temperatura medida no abrigo da estação meteorológica.

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

A tmedave foi obtida calculando-se a média das temperaturas de todas as saídas do dia: $tmedave = ave(tp2m, t=00Z, t=21Z)$.

4 - Conclusão e Trabalhos Futuros

A realização desta reanálise regional possibilitou a criação de um conjunto de informações da atmosfera e da superfície uniforme sobre um período de 5 anos. A resolução horizontal de 40 km entre pontos de grade com todas as variáveis disponíveis é inédita para a região da América do Sul. Os dados da reanálise estão disponíveis ao público através da Internet no endereço:

ftp://lba.cptec.inpe.br/lba_archives/PC/PC-404/regional_reanalysis/

Além de sua utilidade intrínseca, a reanálise criou conhecimento e a ferramenta necessária para a extensão e ampliação da reanálise. A reanálise também permitiu a descoberta de problemas que já foram resolvidos, além de permitir uma melhor representação da atmosfera.

O projeto para a segunda versão da reanálise regional já está em andamento, e será refeita a partir de 2000 sendo em resolução horizontal de 20km x 20km e mantendo a resolução vertical. O modelo atmosférico a ser utilizado será o Eta versão Workstation (Black, 1994, Rozante e Chou, 2002), possui uma nova interface para as variáveis de superfície, o que permite que estas sejam definidas pelo próprio modelo regional, diferentemente desta primeira versão, em que estas eram obtidas da condição de contorno do Modelo Global. Esta segunda versão será gerada continuamente em tempo quase real de forma operacional.

Referências Bibliográficas

- Black T. L. The New NMC mesoscale Eta model: description and forecast examples. *Weather and Forecasting*, v. 9, p. 256-278, 1994.
- Exchanges, 2004: South American Low Level Jet Experiment - SALLJEX.: 29, **9**(1) ISSN No.: 1026 – 0471. Disponível em http://eprints.soton.ac.uk/19310/01/ex_29.pdf . Acessado em 06 de agosto de 2007.
- da Silva, A.; Pfaendtner, J, Guo, J.; Sienkiewicz, M.; Cohn, S.E.;. Assessing the effects of Data Selection with the DAO's Physical-space Statistical Analysis System, 1995. **Proceedings of the second international symposium on the assimilation of observations in meteorology and oceanography**, Tokyo, Japan, WMO and JMA
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J.

Pré-Impressão. Aceito para publicação no Boletim da SBMET. V.30 n.02.

Janowiak, K. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437–471.

Lynch, P., D. Giard, and V. Ivanovici, 1997: Improving the Efficiency of a Digital Filtering Scheme for Diabatic Initialization. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 1976–1982.

Mesinger, F. et al. North American Regional Reanalysis. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* v. 87 n.3, p. 343 – 360, 2006.

Rozante, J.R., Chou, S.C. Avaliação das previsões do modelo eta de alta resolução rodado em uma plataforma de trabalho (WorkStation). . In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu, PR, **Anais..** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002.

Silva Dias, M.A.F., Fisch, G, Fattori, A. P., L, Silva Dias, P., Machado, L. A. T., Morales, C. R, Manzi, A, Yamasoe, M, Marengo, J., Ambrizzi, T, Andrea, M. O, Artaxo, P, Freitas, S, Longo, K. M, Costa, A. A, Betts, A. K, Williams, E., 2003: Radiation, Cloud, And Climate Interactions In SW Amazon during the DRY-TO-WET Transition Season/LBA. *Geophysical Research Abstracts* , v.5, p.13683 - 13683, 2003. EUA.

Uppala, S. M. et al. The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.* V.131, p. 2961-3012, 2005. Doi:10.1256/qj.04.176