

# CARACTERÍSTICAS DO FLUXO DE UMIDADE SOBRE A AMÉRICA DO SUL ASSOCIADO AO JATO DE BAIXOS NÍVEIS AO LESTE DOS ANDES UTILIZANDO MODELAGEM REGIONAL: IMPÁCTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Wagner Rodrigues Soares<sup>1,2</sup>, Jose Antonio Marengo<sup>1</sup>

## RESUMO

O Jato de baixos Níveis (LLJ) é um sistema de ventos com velocidades superiores a  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (conforme o critério 1 de Bonner). A máxima velocidade do vento ocorre tipicamente em torno de 850hPa com pronunciado cisalhamento do vento até 700 hPa (Paegle, 1998). Existem vários LLJ que ocorrem no lado leste de uma topografia elevada como o SALLJ que ocorre no lado leste dos Andes na América do Sul. O mecanismo do SALLJ pode ser entendido da seguinte maneira: o fluxo de ar úmido dos ventos alísios do oceano Atlântico Tropical, ao passar sobre a região Amazônica pode adquirir maior quantidade de umidade devido a forte evapotranspiração desta região. Este ar úmido e morno então é canalizado pelos Andes adquirindo uma aceleração da componente meridional do vento de Norte (Marengo et al, 2004). O SALLJ afeta o tempo e o clima nas regiões Sul/Sudeste do Brasil e Norte da Argentina, pois alimenta com umidade sistemas convectivos de mesoescala que ocorrem nestas regiões. Neste trabalho, eventos de SALLJ foram detectados em Santa Cruz na Bolívia aplicando o critério 1 de Bonner nas saídas do modelo regional HadRM3 para os períodos de 1980 até 1989 e 2080 até 2089 (cenário SRES-IPCC A2). O presente trabalho analisa os fluxos de transporte de umidade integrado verticalmente abaixo de 700hPa.

## ABSTRACT

The low-Level Jet (LLJ) is a system with low level wind speeds larger than  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (according to the Bonner criterion 1). The maximum speed of the wind is typically detected around 850hPa with pronounced shear of the wind up to 700 hPa (Paegle, 1998). As in other regions of the planet, LLJ events have been detected to the east of mountain ranges, such is the case of the Andes and the Rocky Mountains. The mechanism of formation and maintenance of SALLJ can be understood in the following way: the flow of moisture of the trade winds of Tropical Atlantic ocean, when passing on the Amazon forest can acquire larger amount of moisture due to strong evapotranspiration in the Amazon area.

This moist and warm tropical air mass is channeled by Andes acquiring an acceleration of the southern component of the wind of North (Marengo et al, 2004). The SALLJ affects the time and the climate in the areas south/southeast of Brazil and North of Argentina, because it feeds with moisture systems mesoscale convectives that they happen in these areas. In this work, events of SALLJ were detected in Santa Cruz in Bolivia applying the Bonner criterion 1 on the outputs of HadRM3 regional model since 1980 up to 1989 and 2080 up to 2089 (SRES-IPCC A2). The present work analyzes the moisture flows transport integrated vertically below 700hPa.

**Palavras-chave:** Jato de Baixos níveis, mudanças climáticas, transporte de umidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para caracterizar eventos de SALLJ utilizou-se o critério 1 de Bonner (Bonner, 1968) que especifica que a magnitude do vento tem que ser maior ou igual a  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , que o cisalhamento vertical do vento tem que ser de pelo menos  $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  entre os níveis de 850-700 hPa e que a componente meridional do vento tem que ser negativa e maior em módulo que a componente zonal.

---

<sup>1</sup> Centro de Previsão e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) <sup>2</sup> wsoares@cptec.inpe.br

O critério foi aplicado sobre um ponto de grade em Santa Cruz (16.5S, 63W) na Bolívia que esta situada no eixo do jato (Soares e Marengo, 2004).

Os dados de vento, pressão e umidade específica utilizados, são para o período de 1980 até 1989, e 2080 até 2089 e foram obtidos a partir de experimentos numéricos utilizando-se o modelo regional HadRM3 do Hadley Centre com resolução espacial de 50Km (lat/lon) e temporal de 1 dia.

O modelo HadRM3 é um sistema de modelagem regional com um custo computacional relativamente baixo, cuja configuração padrão permite uma alta resolução espacial e temporal. Este modelo compõe o sistema denominado PRECIS (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*), possuindo módulos para projeção de mudanças climáticas em uma interface de configuração para rodar o HadRM3 (Jones et al, 2004). O cenário de aquecimento utilizado foi o SRES A2 do IPCC o qual é caracterizado por forte concentração atmosférica de gases de efeito estufa.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **VARIABILIDADE E CARACTERÍSTICAS DO SALLJ NO CLIMA PRESENTE E FUTURO**

Durante DJF e JJA, o número de jatos detectados é maior (~+25%) no clima de aquecimento global (2080 até 2089 –SRES-IPCC A2) quando se compara ao clima atual (1980 até 1989). A maior ocorrência de jatos foi durante o cenário de aquecimento em JJA, com 90 casos detectados .

O cisalhamento vertical (entre os níveis de 850 e 700 hPa) médio tem valores menores que  $3\text{m.s}^{-1}$ . Os resultados mostraram o incremento tanto da velocidade do vento como do cisalhamento vertical. Os valores do vento horizontal sobre Santa Cruz chegam a serem maiores que  $20\text{m.s}^{-1}$  durante JJA. Se observou também que o cisalhamento vertical, na presença do jato tem valores que chegam até  $8\text{m.s}^{-1}$  na presença do jato. O valor elevado de cisalhamento vertical entre os níveis de 850 e 700 hPa é um fator importante na detecção de jatos de baixos níveis (Douglas et al, 1998). É interessante ressaltar que a média da velocidade do vento durante JJA tanto no clima atual, como no clima futuro, é da ordem de  $12\text{ m.s}^{-1}$ , dessa forma o que restringiu a caracterização do SALLJ é o cisalhamento vertical da velocidade horizontal do vento.

### **COMPONENTES DO FLUXO DE UMIDADE INTEGRADO VERTICALMENTE**

O padrão observado do fluxo zonal de umidade concorda para os meses estudados dentro do período de de 1989 até 1989 com as reanálises do NCEP (não mostrado) onde se observa um fluxo mais intenso sobre o oceano atlântico subtropical, passando sobre a Amazônia e adquirindo uma componente mais intensa de oeste ao longo do lado leste dos Andes.

Neste trabalho serão discutidos apenas variações observadas entre o período de 2080 até 2089 em relação ao período de 1980 até 1989. Quando se compara a FIG. 1d (cenário de aquecimento no

período de 2080 até 2089, SRES-IPCC A2) com o padrão obtido para o clima atual, se observa que existe um fluxo zonal mais intenso ( $\sim 350 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ ) sobre o oceano atlântico tropical. Este fluxo se mantém mais forte sobre a bacia Amazônica. Durante JJA (comparação entre as FIGs 1. d e b) a mesma tendencia é observada, porém os fluxos são menos intensos do que DJF. Na região norte da Argentina, durante DJF se observa uma maior área com fluxo zonal de oeste no cenário de aquecimento obtido nas simulações do modelo regional.

Os compostos de SALLJ, dectados em Santa Curz de La Sierra na Bolívia, tanto no clima presente e futuro (FIGs. 1e, f, g e h), mostram a intensificação do transporte de umidade nos baixos níveis da atmosfera associado a presença do jato. Os valores chegam a ordem de  $\sim 250 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$  durante DJF e até  $\sim 200 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$  durante JJA. Sobre a região Amazônica os fluxos são mais intensos durante o cenário de aquecimento.

Comparando-se as FIG. 2c com a FIG. 2a, se observa que o fluxo meridional de norte em DJF é mais intenso no período de 2080 até 2089 do que no período de 1989 até 2089, indicando que o aquecimento global a partir do cenário de forte emissões tem influencia no transporte de umidade nos baixos níveis da atmosfera na América do Sul. Durante JJA as diferenças nos valores e espacialização do fluxo meridional de norte no lado leste dos Andes são menos evidentes do que durante DJF (comparação entre as FIGs 2c e d). A presença do SALLJ como era de se esperar faz se observar o forte incremento do transporte de umidade especialmente na região imediatamente a leste dos Andes em que os valores chegam até a ordem de  $350 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ . O composto de jatos obtidos a partir do cenário SRES-IPCC A2 mostra ser um pouco mais intenso do que o clima do presente na região do núcleo do jato (20S até 25S) principalmente durante DJF. Durante JJA diferenças apreciáveis não são observadas. Aqui cabe salientar que estas diferenças são evidentes a partir da obtenção de divergencia e fluxos integrados ao longo de limites laterais a partir da integração vertical do transporte de umidade (não mostrado).

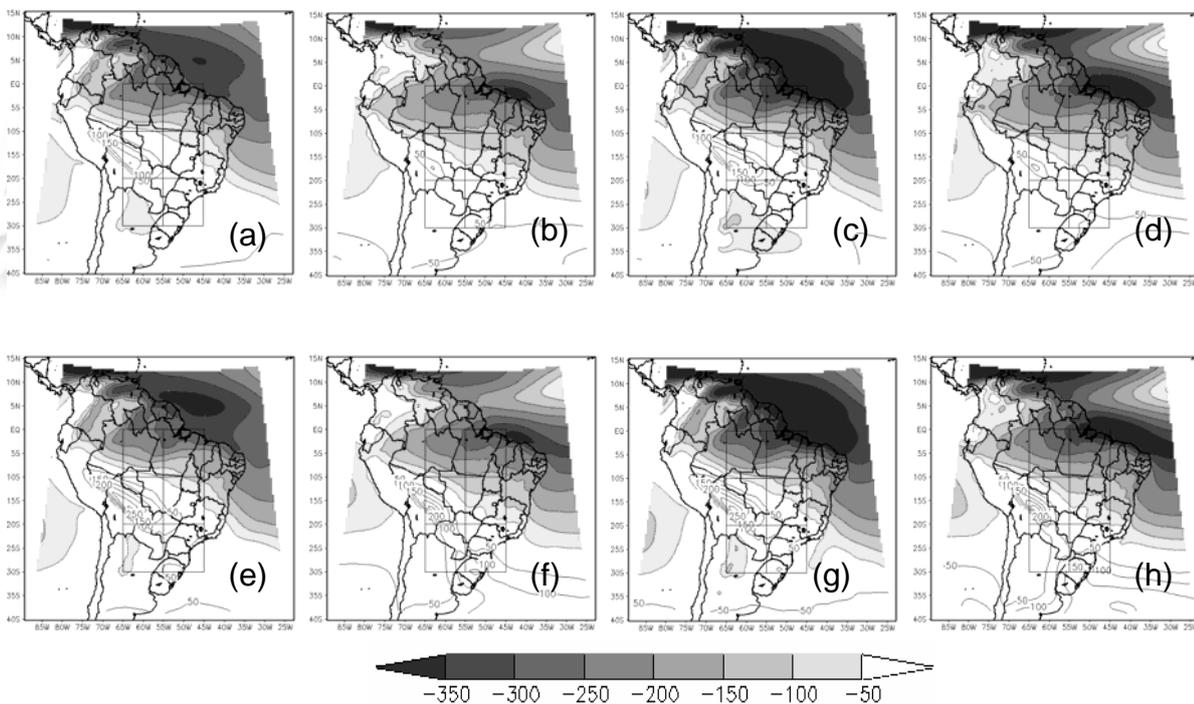
## **PADRÕES DO FLUXO DE UMIDADE TOTAL NOS BAIXOS NÍVEIS DA ATMOSFERA**

A FIG. 3 mostra os padrões do fluxo de umidade total mais evitentes (valores maiores que  $170 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ ).

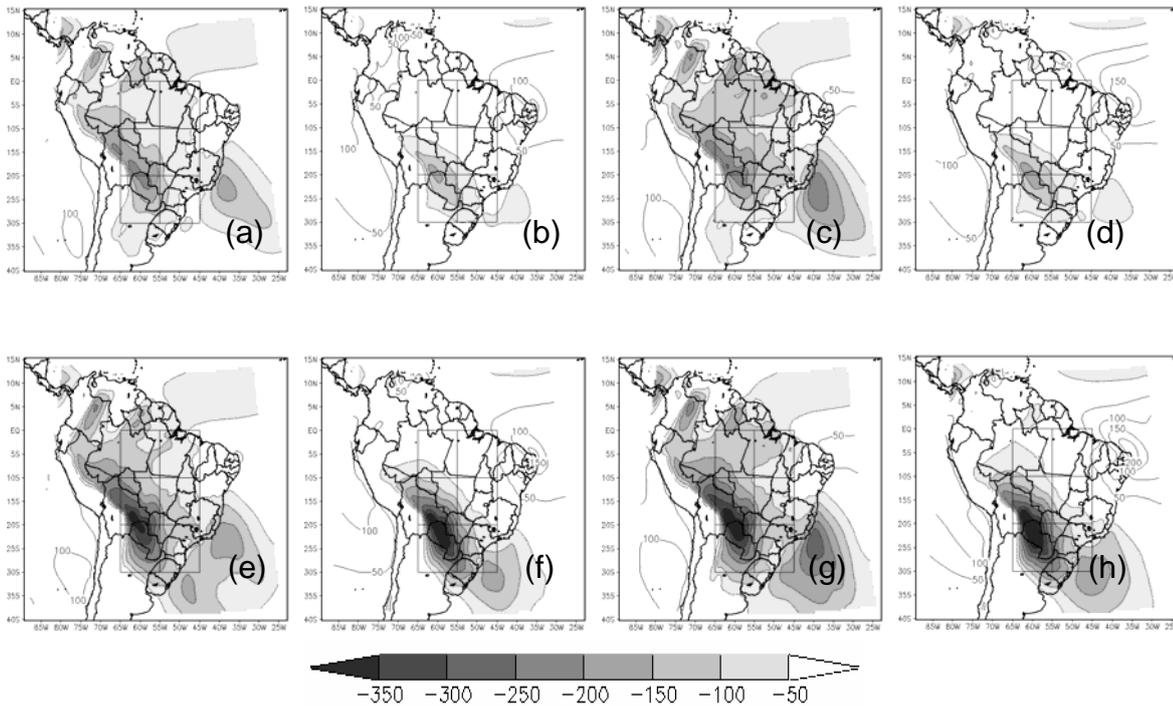
A circulação da umidade nos baixos níveis da atmosfera associada a alta subtropical do atlântico sul, não aparece durante o período de 1989 até 1989 tanto em DJF quanto JJA. Já no Período de 2080 até 2089 essa circulação aparece imediatamente a leste da costa brasileira entre 15S e 30S. O fluxo que passa sobre a Bacia Amazônica penetra mais sobre o continente, chegando até 10S próximo ao estado do Acre. Na região da ocorrência do jato de baixos níveis, o fluxo é espacialmente mais largo, porém o alcance deste fluxo é o mesmo, até aproximadamente, 25S. Durante os meses de JJA, este fluxo médio não é mais evidente na região de ocorrência do SALLJ e

da Alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS), ficando, mais concentrado na região da bacia Amazônica.

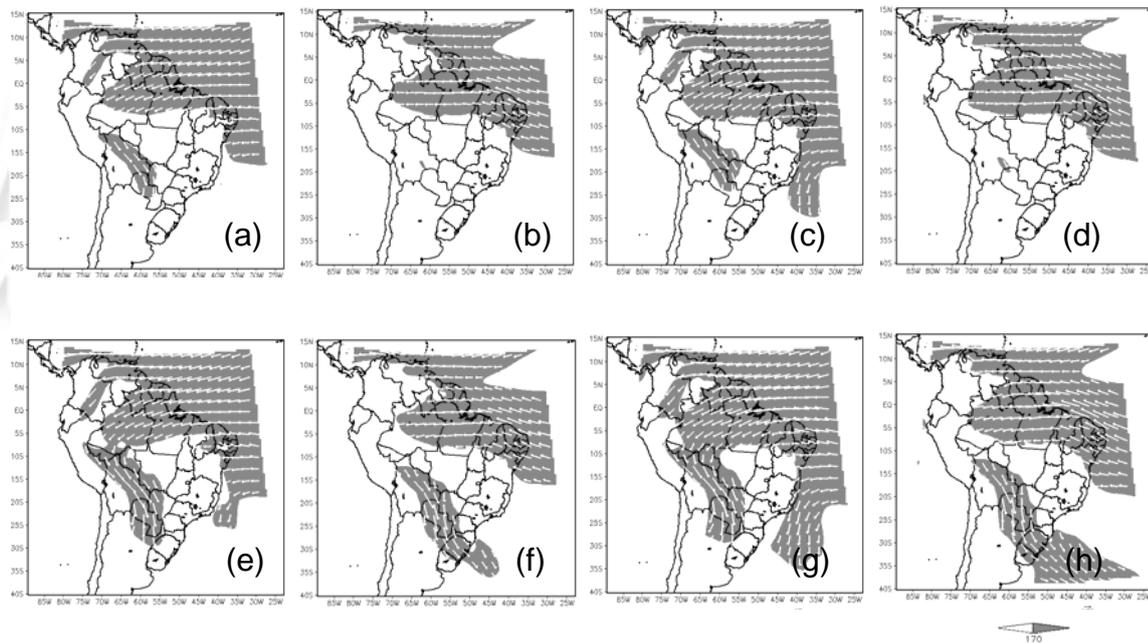
Também se observa uma diminuição do transporte na região onde os fluxos após passarem sobre a Amazônia, sofrem deflexão (estado do Acre e sudoeste da Amazônia). Na presença do SALLJ principalmente durante DJF isto não ocorre, pois se observa uma continuidade do escoamento da umidade tanto no clima presente como sob o cenário de aquecimento. Nestes períodos durante DJF (FIGs. 3e e g) o fluxo chega até ~ 30S (Norte da Argentina), concordando com resultados de Saulo et al, 2000. Além disso, o fluxo associado a ASAS, é mais evidente, principalmente na FIG 3g (período de 2080 até 2089, SRES/IPCC A2). No período de 1980 até 1989, o fluxo observado no lado leste dos Andes durante JJA (FIG. 3f), adquire uma componente de oeste, fazendo com que este fluxo chegue até o estado do Rio Grande do Sul, podendo influenciar assim na precipitação neste estado. No cenário de maior concentração de gases de efeito estufa, o transporte de umidade associado a presença do jato, escoam até mesmo abaixo de 35S com a componente de noroeste mais evidente. Os padrões aqui observados concordam com as reanálises do NCEP para o período de 1980 até 1989 (não mostrado) em que foi aplicado o mesmo critério na detecção do jato de baixos níveis.



**FIG. 1.** Componente zonal do fluxo de umidade integrado entre a superfície e 700hPa. a) média em DJF para o período de 1980 até 1989. b) média em JJA para o período de 1980 até 1989. c), e d), igual a a) e b) só que para o período de 2080 até 2089. e) composto de SALLJ em DJF para o período de 1980 até 1989. f) composto de SALLJ em JJA para o período de 1980 até 1989. g), e h), igual a e), e f) só que para o período de 2080 até 2089. A unidade é  $\text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$ . Valores negativos significam componente zonal de leste.



**FIG. 2.** Igual a FIG. 1, só que para o fluxo meridional.



**FIG. 3.** Fluxo de umidade total integrado entre a superfície e 700hPa. a) média em DJF para o período de 1980 até 1989. b) média em JJA para o período de 1980 até 1989. c), e d), igual a a) e b) só que para o período de 2080 até 2089. e) composto de SALLJ em DJF para o período de 1980 até 1989. f) composto de SALLJ em JJA para o período de 1980 até 1989. g), e h), igual a e), e f) só que para o período de 2080 até 2089. O tamanho dos vetores indica a magnitude do fluxo total de umidade em  $\text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$  e a mancha cinza delimita em  $170 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$  o caminho onde este fluxo é mais intenso.

## CONCLUSÕES

Utilizando –se as saídas do modelo regional HadCM3, foram detectados 25% a mais de jatos de baixos níveis da América do Sul sob condições de maior concentração de gases efeito estufa na atmosfera (período de 2080 até 2089 –SRES-IPCC A2) durante DJF e JJA em comparação aos mesmos períodos em 1980 até 1989. O fator que mais restringiu a caracterização do SALLJ foi o cisalhamento vertical da velocidade horizontal do vento entre os níveis de 850 e 700hPa.

O presente estudo mostrou que existe um fluxo zonal de umidade mais intenso sobre o oceano atlântico tropical no cenário SRES-IPCC A2, durante DJF. Na presença do SALLJ principalmente durante DJF não existe uma diminuição acentuada do transporte na região onde os fluxos após passarem sobre a Amazônia sofrem deflexão. O fluxo de umidade meridional de norte em DJF é mais intenso no período de 2080 até 2089 do que no período de 1989 até 2089, indicando que o aquecimento global a partir do cenário de forte emissão de gases de efeito estufa tem influência no transporte de umidade nos baixos níveis da atmosfera na América do Sul. A circulação de umidade associada a ASAS no período de 2080 até 2089 é mais evidente imediatamente a leste da costa brasileira (entre 15S e 30S) quando se compara ao período de 1980 até 1989. Os compostos de SALLJ obtidos das simulações do modelo regional, tanto no clima presente e futuro, mostram a intensificação do transporte de umidade nos baixos níveis da atmosfera associado a presença do jato. O fluxo de umidade na região do núcleo do SALLJ (20S até 25S) no composto de jatos obtido a partir do cenário SRES-IPCC A2 é mais intenso do que o fluxo de umidade durante 1989 até 1989 principalmente em DJF.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP-Referência N<sup>o</sup>. 02/12670-6) pelo suporte financeiro para o desenvolvimento deste trabalho. E também ao projeto CREAS-PROBIO por dar suporte à utilização do modelo HadRM3.

## REFERÊNCIAS

- BONNER, W. D. Climatology of the low level jet. **Mon. Wea. Rev.**, 96, 833-850, 1968.
- DOUGLAS, M., W., NICOLINI, M., SAULO, C. Observational evidences of a low level jet east of the Andes during January-March 1998, **Meteorologica.**, v.3, p.63-72, 1998.
- JONES, R.G.; NOGUER, M.; HASSEL, D.C.; HUDSON, D.; WILSON, S.S.; JENKINS, G.J.; MITCHELL, J.F.B. **Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS.** Meteorological Office Hadley Centre. Exeter, UK, 40 p. 2004.
- MARENGO, J. A., SOARES, W. R., NICOLINI, M. SAULO, C. Climatology of Low-Level Jet East of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **J. of Climate.** v.17, 12, 2261-2280. 2004.
- SAULO, C., NICOLINI, M., CHOU S. C. Model characterization of the South American low-level flow during the 1997-98 spring-summer season. **Clim. Dynamics.** v.16, p.867-881, 2000.
- SOARES, W. R., MARENGO, J. A. Análise de um episódio de jato de baixos níveis a leste dos Andes durante Janeiro de 2003. Circulação e transporte de umidade In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. **Anais do XIII CBMET.** , 2004.