EPISÓDIOS DE JATOS DE BAIXOS NÍVEIS AO LESTE DOS ANDES DURANTE 13-19 DE ABRIL DE 1999

Jose A. Marengo, Wagner R. Soares.
Centro Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE)
Cachoeira Paulista/SP, Rodovia Dutra km. 40, 12630-000
Email: marengo@cptec.inpe.br, wsoares@cptec.inpe.br

RESUMO

Uma característica da circulação de mesoescala na América do sul é o Jato de Baixo Nível (Low Level Jet - LLJ) ao leste dos Andes. Este sistema de circulação é mais freqüente durante a estação de verão, e as reanálises globais de centros operacionais, assim como poucas observações de ar superior, sugerem sua existência como sendo uma "esteira de umidade" que se estende desde a Bacia Amazônica até o sul do Brasil e planícies Argentinas. Este fluxo é semelhante ao LLJ que ocorre durante a estação de verão nas Grandes Planícies na América do Norte. Na América do Sul as observações ainda são poucas, devido a escassas de sondagens nesta região, causando muita incerteza para validar as reanálises e descrever o ciclo diurno e a umidade transportada associada a este LLJ.

O presente estudo analisa um episódio de LLJ durante o outono de 1999 que foi seguido por uma onda forte de massa de ar mais fria e seca. Esta massa de ar fria (Southerly Jet ou SJ) teve seu máximo perto dos Andes, a uma altitude de aproximadamente 1200 metros sobre o nível do solo. Alguns dias antes foram observados o fluxo de ar úmido e quente do LLJ, a uma altitude de 1600 metros sobre o nível de solo. Este evento de LLJ-SJ é representativo da variabilidade sinótica da região. O ciclo diurno obtido de reanálises mostrou que a máxima intensidade do LLJ ocorreu entre 0000 e 1200 Z enquanto que o SJ tem um máximo entre 0000 e 0600 Z. A falta de sondagens da atmosfera com alta resolução temporal não permitem verificar a variabilidade produzida pelas reanálises para o LLJ e SJ.

ABSTRACT

A feature of the South American mesoescale circulation is the so-called Low Level Jet (LLJ) east of the east of the Andes. This circulation system is more relevant during the warm season, and the global reanalyses and few isolated upper-air observations suggest its existence as a "moisture corridor, extending from the Amazon Basin to southern Brazil and Argentine plains. This flow is similar to the much more extensively studied LLJ in the Great Plains in North America during the warm season. In-situ observations have been scarce, due to the sparse sounding network in this region, causing a great deal of uncertainty the ability of the reanalysis to describe the diurnal cycle and the moisture transport associated to this LLJ.

The present study analyses a case study episode on LLJ during the fall season of 1999, which was followed by a strong surge of colder and drier air mass. The maximum intensity of this cold surge is shown as a stream (Southerly Jet or SJ) with maximum nearby the Andes, at an altitude of approximately 1200 meters above the ground level, while few days before the northerly stream of moist and warm air of the LLJ was reported, at an altitude of 1600 meters above the ground level. This LLJ-SJ event is representative of the synoptic

variability of the region. The mean diurnal cycle from the reanalysis shows that LLJ maximum intense occurs between 0000 and 1200 Z (early morning), wile the SJ shows a maximum between 000 and 0600 Z. The lack of radiosonde observations with high temporal resolution does not allow the validation of the diurnal cycle of LLJ and SJ produced by the reanalises.

1. INTRODUÇÃO

O jato de baixo nível (LLJ) é um sistema de vento com altas velocidades abaixo de um ou dois quilômetros, com uma extensão horizontal de aproximadamente 500 km, dimensão comum de escala sub-sinótica e mesoescala. Segundo Paegle (1998), um LLJ típico acontece ao leste de uma topografia alta. Exemplos incluem o Jato da Somália localizado ao leste das regiões elevadas na África, o LLJ das Grandes Planícies situado ao leste das Montanhas Rochosas nos EUA, e o LLJ Sul Americano encontrado ao leste dos Andes. Em todos LLJs, a umidade condensa freqüentemente e precipita na região de convergência de baixo nível situada na saída do jato. Na América do Sul, alguns estudos baseados em observações isoladas, reanálises do NCEP (National Center for Environmental Prediction) ou ainda modelagem global ou regional documentaram o LLJ a leste dos Andes (Berri e Inzunza, 1993; Nogues-Paegle e Mo, 1997; Paegle, 1998; Douglas et al., 1998 e 1999; Saulo et al., 2000, Nicolini e Saulo, 2000; Misra et al., 2000; Lau e Zhou, 2000, Seluchi e Marengo, 2000; Marengo et al., 2002). Nestes trabalhos, vários episódios de LLJ ao leste dos Andes foram identificados durante as estações de verão e outono em 1997, 1998 e 1999, onde foi feitas a análise das características verticais e circulação próxima à superfície.

Episódios de LLJ podem acontecer durante todo ano, porém são detectadas com maior freqüências entre os meses de dezembro até fevereiro. A Figura 1 mostra uma maior freqüência nos meses de verão (segundo as reanálises do NCEP com o critério 1 de Bonner para Santa Cruz, Bolívia). Ainda que as reanálises não sejam tão confiáveis para estudos de LLJ na América do Sul, devido às poucas observações de ar superior existente na região, esta figura pode dar uma primeira aproximação ao ciclo anual do LLJ.

Estudos de LLJ realizados por Bonner e Paegle (1970) para o LLJ das Montanhas Rochosas dos EUA e por Paegle (1998) para o LLJ ao leste dos Andes, sugerem algumas semelhanças entre os dois jatos. O LLJ das Grandes Planícies transporta umidade do Golfo do México para o centro dos EUA, é associado com intensa convecção de tipo monção durante o verão e tem intensidade máxima durante a noite entre 0000-0600 Z (Wang e Paegle, 1996; Douglas, 1995; Higgins et al., 1997; Barlow et al., 1998 e Berbery e Collini, 2000).

Em alguns aspectos, os Andes são semelhantes às Montanhas Rochosas e é esperado que tenha uma influência semelhante na circulação regional que favorece a presença de um LLJ. Ambas montanhas estendem-se das regiões tropicais até latitudes altas, bloqueiam a baixa circulação no sentido zonal e produzem um efeito de canalização. Porém, os Andes são muito mais estreitos que as Montanhas Rochosas. Um aspecto chave do LLJ ao leste dos Andes é seu ciclo diurno, o qual não pode ainda ser avaliado uma vez que observações de ar superior são feitas somente uma ou duas vezes ao dia na região. Apesar da representação de uma velocidade de vento máxima nas reanálises de modelos globais ao leste dos Andes na América do Sul, as observações de ar superior são poucas no norte da

Argentina, oeste do Brasil, Bolívia e Paraguai, e pela falta de campanhas de campo, não se pode validar a existência dos LLJs reproduzidos pelas re-análises.

Observações de balão piloto do projeto Pan American Climate Studies Sounding Network (PACS-SONET) feitas em Santa Cruz na Bolívia (Douglas, 1998; Douglas et al., 1998 e 1999; Douglas e Peña, 2000; Douglas et al., 2000 e Marengo et al., 2001) permitiram a oportunidade de explorar a estrutura, características e variabilidade temporal do LLJ ao leste dos Andes. Assim, Douglas et al. (1999) e Marengo et al. (2001) usando uma ou duas observações diárias obtidas de balão piloto em locais da Bolívia para analisar episódios de LLJ durante o verão de 1998 e 1999, observaram ventos mais fortes em torno de 1100 Z (manhã cedo) com máximo entre 1600 até 2000 metros de altitude aproximadamente. O fato de ter observações duas vezes por dia (~1100 e 2200 Z) não permite determinar o ciclo diurno do LLJ baseado somente em perfis de vento obtidos com balão piloto. É possível que o máximo da intensidade do LLJ aconteça no período entre estas observações.

Estudos prévios de Douglas et al. (2000) e Marengo et al. (2001) enfocaram episódios de LLJ durante o verão-outono de 1999, e identificaram um intenso evento particular de LLJ durante 14-15 de abril, seguido por uma intensa frente fria (representando um SJ) durante os dias 16-17 de abril de 1999. Este episódio particular de LLJ-SJ aconteceu fora da estação de verão, embora próximo aos episódios mais fortes e mais freqüentes de LLJ detectados no verão-outono de 1999. O objetivo do presente trabalho é estudar e analisar a estrutura vertical, o transporte de umidade, e as características sinóticas destes episódios de LLJ e SJ. Cabe mencionar que o SJ representa uma entrada de ar frio (mesoescala) associada a uma frente fria (escala sinótica), com uma grande variabilidade sinótica do fluxo meridional próxima aos Andes (Seluchi e Marengo 2000), e que os dois sistemas apresentam diferentes forçantes.

2. DEFINIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Durante o verão de 1999, alguns episódios fortes de LLJ foram observados baseados na análise de informações de ar superior na Bolívia usando o critério 1 de Bonner para perfis de vento em Trinidad e Santa Cruz, e vento máximo em superfície observados no Paraguai e Bolívia (Figura 2). Bonner (1968) examinou a estrutura espacial e características temporais dos LLJs das Grandes Planícies usando três critérios para identificar a presença de um LLJ na sondagem vertical da velocidade do vento. O *critério 1 de Bonner* especifica que o perfil de velocidade de vento tem que ter um máximo de pelo menos 12 m/s abaixo de 1,5 km de altitude e que deve existir um decréscimo na velocidade do vento de pelo menos 6 m/s por km abaixo do nível de 3 km (aproximadamente entre 850 e 700 hPa).

Observações sinóticas de Santa Cruz e relatórios de tempo emitidos na ocasião pelo CPTEC-INPE informaram sobre um intenso episódio de LLJ durante 14-15 de abril, seguido por uma passagem de frente fria (associada ao SJ) entre 16-17 de abril de 1999. Este episódio de LLJ foi o mais forte durante a estação de verão-outono em 1999.O episódio particular de SJ durante 16-17 de abril de 1999 foi relacionado de fato a uma penetração de frente fria, e constituiu um evento raro porque a estação de inverno ainda não havia começado. Satyamurty et al. (2001) indicaram que este episódio foi relacionado com uma massa de ar muito fria que provocam temperaturas negativas e geadas no sul e sudeste do Brasil durante 17 e 18 de abril. Também nevou no estado de Santa Catarina no dia 17 de abril, evento jamais registrado nos últimos 30 anos.

Estes dois eventos de jatos mostram a variabilidade sinótica da circulação em baixos níveis ao leste dos Andes, determinando a intensidade do fluxo meridional e sua reversão de ventos de norte para ventos de sul. Isto aconteceu em um período de apenas quatro dias e no final da estação de verão. Em relação ao SJ, Satyamurty et al. (2001) mostraram a intensificação daquela onda sinótica baroclínica seguida pelo desenvolvimento de uma baixa pressão na superfície, associada à formação de uma baixa "cut-off" sobre a Argentina nos dias 16 e 17 de abril. A advecção por fluxo de ar frio do sul no setor oriental do centro de alta pressão foi responsável pela projeção da célula de alta pressão para o norte em direção ao leste dos Andes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Observações de ar superior na Bolívia (balão piloto e radiossonda) utilizados neste estudo são do projeto PACS-SONET (Douglas, 1998) e foram patrocinadas pelo programa PACS da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) dos EUA. Além de dados atmosféricos de radiossonda (uma ou duas observações por dia) em Santa Cruz na Bolívia, foram utilizados dados de balão piloto (duas observações por dia) em Trinidad e no Aeroporto Internacional de Santa Cruz por volta das 0630-0700 LST (~1200 Z) e 1700-1730 LST (~2200Z) disponibilizados pelo programa NASA-LBA Hydrometeorology. Para estudar os padrões de circulação nos baixos e médios níveis da atmosfera, além do transporte meridional, foram utilizadas informações adicionais de vento e umidade específica das reanálises do NCEP as 0000, 0600, 1200 e 1800 Z (Kalnay et al., 1996), durante abril de 1999. Estas reanálises tem uma resolução espacial de 2,5 x 2,5 graus de latitude-longitude. Observações sinóticas de superfície no Paraguai foram também analisadas (Figura 2).

Para identificar a evolução e características destes dois intensos episódios de jatos de baixos níveis utilizou-se uma combinação de observações de superfície e de ar superior feitas na Bolívia e Paraguai, assim como dos campos de circulação e umidade das reanálises do NCEP. O Critério 1 de Bonner foi aplicado para as observações de vento em Trinidad e Santa Cruz, e nas reanálises do NCEP em abril de 1999 em todas as horas de observação e em pontos de grade próximos a Santa Cruz e Trinidad.

Estimativas de precipitação foram obtidas do PERSIANN (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Network), onde a precipitação tropical é estimada baseada em informação de satélite GOES com uma resolução espacial de 0,25 x 0,25 de latitude-longitude (Sorooshian et al., 2000). No presente estudo assume-se que o eixo do jato esta localizado imediatamente ao leste dos Andes no nível de 850 hPa, próximo a Santa Cruz e Trinidad na Bolívia, na longitude próxima a 60^{o}W.

4. RESULTADOS E DISCUÇÃO

4.1. Circulação em baixos níveis

Dados observacionais de vento zonal, meridional e reanálises do NCEP em 850 hPa para Santa Cruz são mostradas nas Figuras 3a e 3b. Entre os dias 15 e 16, há um fluxo de nordeste forte que em dois dias seguintes é completamente invertido a um fluxo de sul e que é reproduzido pelas reanálises do NCEP. Observa-se que as reanálises do NCEP mostraram a variabilidade temporal dos episódios de LLJ e de SJ, com o fluxo forte de noroeste durante 13-16 de abril seguido pelo fluxo de sudeste durante 17-19 de abril de 1999. Embora os fluxos zonal e meridional das reanálises reproduzam as mudanças entre leste-oeste e norte-sul observadas, a componente meridional é subestimada pelas reanálises

em quase 10 m/s durante o dia 18 de abril. Em relação a componente zonal, as reanálises não reproduzem a acentuada oscilação entre as componentes leste e oeste que aconteceram o dia 18 de abril.

Embora exista uma concordância entre observações e reanálises relativa à mudança de direção do vento, temos que reconhecer que o NCEP ou qualquer outro produto de reanálises em cima desta região da América do Sul, é obtido com base em saídas de modelos, pois poucas observações da região estão disponíveis para ser utilizada nas mesmas. Neste caso é possível que as reanálises estejam mostrando somente a circulação gerada pelo modelo. Os valores de vento observados em nível de estação são comparados com os ventos das reanálises em ponto de grade. Isso poderia explicar a subestimação em relação aos valores de vento zonal ou meridional observado. As mudanças nas observações de vento meridional associado com o LLJ e o SJ vistos na Figura 4 mostram um fluxo de LLJ pré-frontal do norte que é mais fraco (15 m/s) que os fluxos meridionais do SJ, que apresenta ventos de aproximadamente 22 m/s em 19 de abril.

A evolução da circulação meridional de 14 até 17 de abril de 1999 no nível de 850 hPa mostra A intensificação do fluxo de nordeste ao leste dos Andes é evidente às 0600 Z do dia 14 de abril, ficando mais forte entre 1200-1800 Z. No dia 15 de abril o fluxo de nordeste fica mais forte novamente às 0600 Z (vento meridional maior que 6 m/s) e reduz sua intensidade às 1200 Z. O fluxo do sul começa a se intensificar alcançando 25 ^{o}S com componente de sudeste às 1800 Z. O fluxo de norte é fraco e reduzido a menos de 6 m/s desde o oeste da Bolívia para o sul do Brasil no dia 16 de abril. O vento do sul alcança intensidade mais alta em 30^{o}S (vento meridional de 20 m/s) entre 1200 e 1800 Z. As 0000 Z o vento meridional alcança 20 m/s sobre da parte oriental da Bolívia e Paraguai. Em 17 de abril, o fluxo do sul alcança 10^{o}S, move-se em direção ao norte (embora mais fraco, com velocidade de 4 m/s) alcançando 5^{o}S às 1800 Z e se mantém forte (mais de 20 m/s) sobre o oeste da Argentina, Uruguai e sul/sudeste do Brasil.

Durante a situação sinótica do episódio de LLJ de 14 e 15 de abril, os alísios ficaram mais intensos numa faixa entre 10 ^{o}N até 10 ^{o}S, sofrendo uma deflexão devido aos Andes quando se intensifica o fluxo de noroeste, determinando convergência e chuva sobre as regiões sul do Brasil, Uruguai e noroeste da Argentina.

4.2. Circulação em altos níveis e perfis de vento

A Figura 5a-d mostra os perfis de vento meridional e zonal observados em Santa Cruz e Trinidad para o período de 12 até 19 de abril de 1999. Em Santa Cruz, o vento de norte mais forte foi observado em 15 de abril (linha vermelha na Figura a) com aproximadamente 20 m/s às 1054 Z, que continua intenso no dia 16 de abril (21 m/s) no nível próximo a 2000 m AGL. Observa-se também o forte cisalhamento em níveis mais altos com ventos de aproximadamente 5m/s. Em Trinidad, a maior velocidade do vento meridional observada (linha rosa na Figura 6b) foi registrada no dia 14 de abril às 1100 Z (15 m/s). No dia 15 de abril às 1100 Z, observa-se vento de norte de aproximadamente 12 m/s (linha vermelha na Figura 5b) entre 1800-2000 m AGL, com a componente de norte tornando-se mais fraca acima de 500 hPa. No dias do SJ, o vento do sul alcançou até 22 m/s com as maiores velocidades do perfil entre 1000 e 1200 m AGL e observa-se que a componente do leste esta maior. A componente zonal do vento (Figura 5c-d) mostra em Santa Cruz ventos fortes do oeste no dia 15 de abril durante o episódio do LLJ. Em Trinidad observa-se o mesmo comportamento, com forte componente de oeste durante os episódios de LLJ e de leste durante o SJ. Observações de vento de noroeste no dia 15 de

abril apresentado por Douglas e Peña (2000) em Trinidad mostraram ventos de sudeste de aproximadamente 25 m/s a 1 km AGL na manhã de 17 e 18 de abril.

Para investigar o transporte e a mudança meridional de massas de ar e sua variabilidade diurna durante os episódios de LLJ e de SJ, é apresentada a Figura 6 a-h que mostra o vento meridional junto com o campo de umidade específica longo da latitude de Santa Cruz (17,5 ^{o}S). Observa-se uma evidência da presença do fluxo do norte intenso (LLJ), com uma dimensão de mesoescala na direção do fluxo e com uma estrutura profunda quase sempre entre a superfície e 600 hPa. As maiores intensidades (12-14 m/s) aparecem entre 0006 e 1200 Z, e diminuindo às 1800Z (10 m/s). O eixo do jato é localizado em torno de 800-900 hPa e aproximadamente entre 60-62^{o}W. Às 0000-0600 Z um secundário máximo é observado mais adiante ao leste, relacionado ao Planalto Brasileiro. O eixo do LLJ aparece ligeiramente ao leste da longitude de Santa Cruz o que sugere que as reanálises não representam o LLJ sobre Santa Cruz. O conteúdo de umidade é maior que 12 g/kg na camada abaixo de 850 hPa, entre o Planalto até os Andes, com maiores valores entre 45-55 ^{o}W próximo dos Andes, e com o máximo de vento do norte entre os máximos de umidade.

O SJ é mais raso e localizado mais abaixo que o LLJ, com eixo a 900 hPa. Os ventos fortes do sul alcançam até o Planalto Brasileiro (45 ^{o}W), sugerindo que o SJ é mais forte que o LLJ, com maiores intensidades da velocidade do vento entre 0000-0060 Z. Também se observa uma diminuição na sua altitude as 1200 Z. A onda fria associada a este SJ representa resfriamento raso e ar mais seco que se move em direção ao norte sob o efeito de canalização causado entre os Andes e o Planalto. Entre as 1200 e 1800 Z o SJ afasta-se para leste (até 50 ^{o}W), enquanto que o LLJ permanece próximo a 60 ^{o}W. O campo de umidade específica do dia 18 apresenta um grande contraste com o campo do dia 15 de abril, com uma região relativamente seca (2-4 g/kg) entre 55 e 65 ^{o}W no eixo do SJ, estendendo da superfície até 700 hPa

A Figura 7 mostra os perfis de temperatura do ar e do ponto de orvalho obtidos de sondagens em Santa Cruz. No episódio de LLJ em 15 de abril, o grande conteúdo de umidade entre 850-970 hPa caracteriza o perfil às 1100 Z, enquanto que pela tarde (2200 Z), o conteúdo de umidade é aparentemente menor que das 1100 Z. O episódio de SJ é caracterizado por um ar frio e mais seco em níveis mais baixos o que é confirmado pela distância entre os perfis de temperatura do ar e ponto de orvalho. A temperatura muda depois do LLJ e antes do SJ mostrando a máxima inclinação nos dois primeiros quilômetros, com mudanças máximas de 12^{o}C abaixo de 1 km.

5. CONCLUSÕES

Utilizando observações de superfície e um limitado registro de observações de ar superior da Bolívia, no presente trabalho foram analisados episódios de LLJ e SJ no durante o período de 13-19 de abril de 1999. Em relação ao conteúdo de umidade e circulação, observou-se que os grandes contrastes entre massas de ar durante o LLJ e SJ aconteceram em menos de quatro dias, representando a variabilidade sinótica na América do Sul. O SJ aqui estudado representa um episódio sinótico já documentado (Satyamurty et al. 2001), com resfriamento forte e afluência de ar seco, que produz condições frias e até geadas no sul do Brasil.

A profundidade do LLJ obtida das reanálises do NCEP contrastou com a relativamente estrutura mais rasa do SJ. O LLJ durante este estudo de caso está mais profundo e localizado em torno de 1600 metros, enquanto o SJ é mais raso e esta em uma altitude em torno de 1200 m. O fluxo meridional do SJ parece ser mais forte que o do LLJ.

Isto concorda com eventos semelhantes observados nesta região durante verão de 1998. As poucas observações de ar superior permitem identificar uma concordância entre o máximo de vento do norte observado nos perfis em Santa Cruz e Trinidad e aqueles detectados nas reanálises, ainda que as reanálises subestimem as intensidades, o que é compreensível devido a sua resolução espacial.

O ciclo diurno do LLJ e SJ ainda é um problema devido a pouca resolução temporal de observações na região ao longo do jato. As reanálises mostram a intensidade máxima do LLJ entre 0600 e 1200 Z, enquanto o maior transporte de ar frio e seco do SJ acontece entre 0006 e 1200 Z. Em relação ao SJ, o ciclo diurno vai depender da penetração do sistema sinótico. A maioria das sondagens de ar superior na região dos jatos é disponível somente duas vezes por dia, ao redor 1100 e 2200 Z e é esperada uma variabilidade da velocidade máxima do vento entre as observações neste período. Estas sondagens mostram a intensidade máxima dos jatos ao redor das 1100 Z, mas devido ao número de observações ser pequeno, não permitem a validação da intensidade máxima derivada das reanálises do NCEP.

Observaram-se as limitações das reanálises do NCEP para representar o LLJ ao leste dos Andes na América do Sul. De fato, as reanálises reproduzem as características principais que seriam típicas de um LLJ, com o fluxo úmido do norte ao leste dos Andes. Porém, para o episódio de LLJ estudado neste trabalho, as reanálises não satisfazem o critério 1 de Bonner, pois subestimam a intensidade do fluxo do norte. Assim, devido às limitações das reanálises do NCEP, uma combinação delas com observações de ar superior (balão piloto e radiossonda) e observações de superfície, ajudou a melhor definir a estrutura e características sinóticas do LLJ e SJ.

Este estudo evidência a utilidade das observações de balão piloto do projeto PACS-SONET, pois o número de radiossondagens na região do jato é pequeno. Embora estes só possam registrar vento e tem restrições em condições de céu coberto, a utilização de balão piloto tem a vantagem de ter baixo custo e ser de fácil operação. Espera-se que futuras campanhas e experimentos de campo associado ao SALLJ (South American Low Level Jet ou Jato de Baixos Níveis na América do Sul) planejadas para verão de 2002-2003 (SALLJ-Brasil) possam ajudar provendo dados de superfície e de ar superior com alta resolução de tempo em mais pontos de observação ao longo do eixo do jato. O SALLJ-Brasil é um experimento de campo liderado pelo CPTEC-INPE e que inclui observações de alta resolução espacial e temporal na região do jato, assim como modelagem atmosférica em vários níveis. O SALLJ-Brasil, juntamente com componentes similares do SALLJ na Argentina, Paraguai e Uruguai, vão ajudar a documentar a natureza do ciclo diurno do LLJ e avaliar até que ponto modelos do clima global pode reproduzir o ciclo diurno e quais são as conseqüências nas previsões de tempo se esses não forem corretamente entendidos. O SALLJ é uma parte integral do MESA (Monsoon Experiment on South America ou Experimento do Monção da América do Sul). Estes programas internacionais mostram o interesse na comunidade científica internacional em relação ao LLJ ao leste dos Andes, como parte de Monção da América do Sul e que é o objetivo do programa VAMOS (Variability of American Monsoon System ou Variabilidade da Monção da América do Sul e que tem o MESA como uma de suas componentes).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IAI pelo financiamento do projeto PROSUR (IAI-CRN 055) que tem o LLJ como componente integral de seu tema de pesquisa, ao escritório da NOAA que tem apoiado o programa de observação PACS-SONET, Michael Douglas (Coordenador do projeto PACS) da NOAA/NSSL, pelas discussões sobre as características observacionais e sinóticas do LLJ na América do Sul, ao escritório do LBA-NASA Hydrometeorology por tornar possível o financiamento para operar radiossondagens em Santa Cruz, e pelo suporte ao PROJETO LBA-WET AMC. Nós também agradecemos a Ramiro Villarpando da AASANA por disponibilizar dados de superfície e superiores na Bolívia, Julian Baez do DINAC pelo compartilhamento dos dados de superfície do Paraguai, e Jose Meitin do NCAR/UCAR-JOSS pelo acesso aos dados de radiossonda de Santa Cruz.

6. BIBLIOGRAFIA

BARLOW, M., NIGAM, S., BERBERY, E. Evolution of the North American Monsoon. **J. Climate**., v.11, p.2238-2257, 1998.

BERBERI, H., COLLINI, E. Springtime precipitation and water vapor flux over southeastern South America. **Mon Wea Rev**.,v.128, p.1328-1346, 2000.

BERRI, G. J., INZUNZA, B. The Effect of the Low-Level Jet on the Poleward Water Vapor Transport in the Central Region of South America. **Atmos. Environ**., v.27A, p.335-341, 1993.

BONNER, W. D. Climatology of the low level jet. **Mon. Wea. Rev**., v. 96, p.833-850, 1968.

BONNER, W. D., PAEGLE, J. Diurnal variations in boundary layer winds over the south-central United States in summer. **Mon. Wea. Rev**., v.98, p.735-744, 1970.

DOUGLAS, M. W. The summertime low-level jet over the Gulf of California. **Mon Wea. Rev**., v.123, p.2334-2347,1995.

DOUGLAS, M. W. Extension and expansion of the Pan American Climate Studies Sounding Network (PACS-SONET) for extended monitoring of climate variability over the Americas. Proposal to PACS, available from <*http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs/proposal/PACSproposal.html*> 1998.

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.

DOUGLAS, M. W., NICOLINI, M., SAULO, C. The Low-level jet at Santa Cruz, Bolívia during January-March 1998, pilot balloon observations and model comparisons. in Extended Abstracts of the 10th Symposium on Global Change Studies, 10-15 de Janeiro de 1999, **Anais.** Dallas, Texas, p.223-226, 1999.

DOUGLAS, M. W., PEÑA, M. VILLARPANDO, R. Special observations of the low level flow over eastern Bolívia during the 1999 atmospheric mesoscale campaign. In Extended Abstracts of the 6th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. 3-7 de Abril de 2000. **Anais.** Santiago, Chile, p.157-158, 2000.

DOUGLAS, M. W., PEÑA, M. The Pan American Climate Studies sounding network (PACS-SONET) recent history and planned improvements. In Extended Abstracts of the 6th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. 3-7 de Abril de 2000. **Anais.** Santiago, Chile, p.258-259, 2000.

HIGGINS, W., YAO, Y., YARTOSH, E., JANOWIAK, J.,.MO, K. Influence of the Great Plains Low-Level Jet on summertime precipitation and moisture transport over the Central United States. **J. Clim**. v.10, p.481-507, 1997.

KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELLl, M., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., ZHU, Y., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HIGGINGS, W., JANOWIAK, J., MO, K. C., ROPELEWSKI, C., WANG, J., LEETMA, A., REYNOLDS, R., JENNE R., and JOSEPH, D., The NCEP/NCAR 40-Year Reanalyses Project. **Bull. Am. Met. Soc**., V. 77, P. 437-471, 1996.

LAU, W., ZHOU, E. J. Rainfall regimes and interannual variability of South American summer monsoon. In Extended Abstracts of the *6th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography.* 3-7 de Abril de 2000. **Anais.** Santiago, Chile, p.153-154, 2000.

MARENGO, J. A., DOUGLAS, M. W., SILVA DIAS, P., The South American Low-Level Jet East of the Andes during the LBA-TRMM and LBA-WET AMC campaign of the Summer of 1999. Aceito, **J. Geophys Res.,** 2001.

MISRA, V., DIRMEYER, P., KIRTMAN, B., HUANG, H., KANAMITSU, M. Regional simulation of Interannual Variability over South America. **COLA Technical Report 85**, 2000, 42p.

NICOLINI, M., SAULO, C. **Eta characterization of the 1997-98 warm season Chaco jet cases**. In Extended Abstracts of the 6th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. 3-7 de Abril de 2000. **Anais.** Santiago, Chile, p.330-331, 2000.

NOGUÉS-PAEGLE, J., MO, K. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Mon. Wea. Rev**. v.125, p.279-291, 1997.

PAEGLE, J., A comparative review of South American low level jets. **Meteorologica**, v.3, p.73-82, 1998.

SATYAMURTY, P., BUSTAMANTE, J., BOTTINO, M., SELUCHI, M., LOURENÇO, M. C., GONÇALVES, L. G. An early freeze in southern Brazil in April 1999 and its CPTEC NWP guidance. **Meteorol. Appl.** v. 8, p.1-16, 2001.

SAULO, C., NICOLINI, M., CHOU S. C. Model characterization of the South American low-level flow during the 1997-98 spring-summer season. **Climate Dynamics**. v.16, p.867-881, 2000.

SELUCHI, M., MARENGO, J. A. Tropical-Mid Latitude Exchange of Air Masses during Summer and Winter in South America:Climatic aspects and extreme events. **Int. J. Climatol,** v.20, p.1167-119, 2000.

SOROOSHIAN, S., HSU, K., GAO, X., GUPTA, V., IMAN, B., BRAITHWAITE, D,: Evaluation of PERSIANN System satellite-based estimates of tropical rain. **Bull Am. Met Soc**, v. 81, p. 2035-2046. 2000.

WANG, M., PAEGLE, J. Impact of analysis uncertainty upon regional atmospheric moisture flux. **J. Geophys Res.** . v.101, p.7291-7303, 1996.

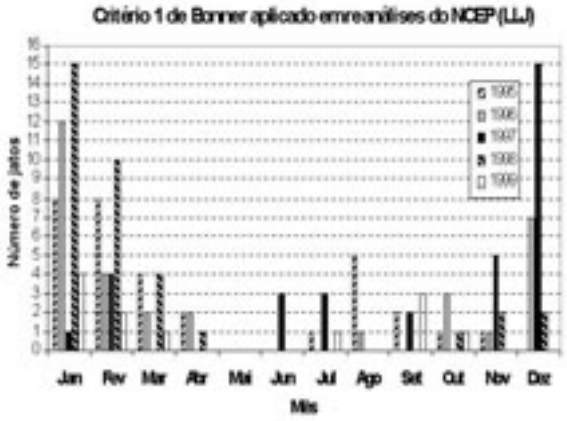

Figura 1. Ciclo anual do número de episódios de LLJ desde 1995 até 1999, observados sobre um ponto de grade próximo a Santa Cruz-Bolívia. A identificação do LLJ foi baseada no vento em 850 hPa das reanálises do NCEP que cumpriram o Critério 1 de Bonner.

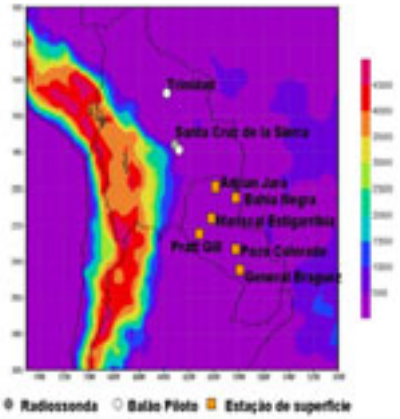

Figura 2. Localização das estações de ar superior e de superfície utilizadas neste estudo.

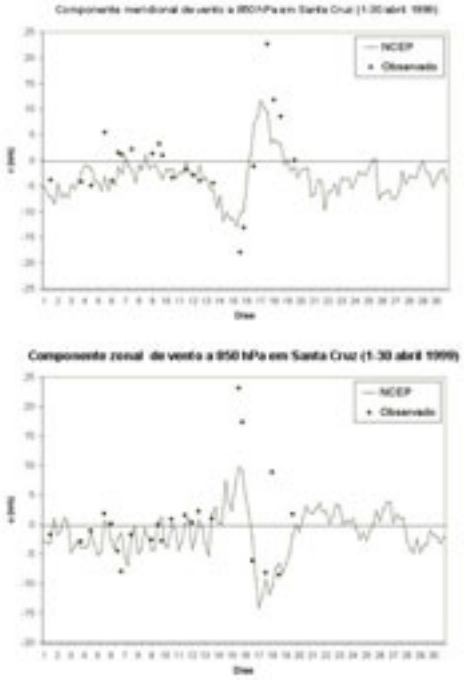

Figura 3. Componentes do vento meridional (a) e zonal (b) em 850 hPa para Santa Cruz durante abril de 1999 e observações de radiossonda de uma ou duas vezes por dia para a mesma localidade.

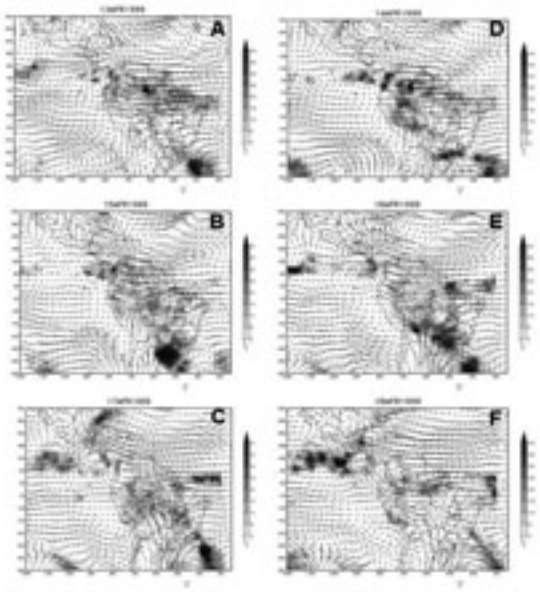

Figura 4. Circulação próxima à superfície (925 hPa) do NCEP reanálises e de chuva do PERSIANN para o período de LLJ intenso (15-16 abril 1999, a, b) e de SJ intenso (17-18 abril 1999).

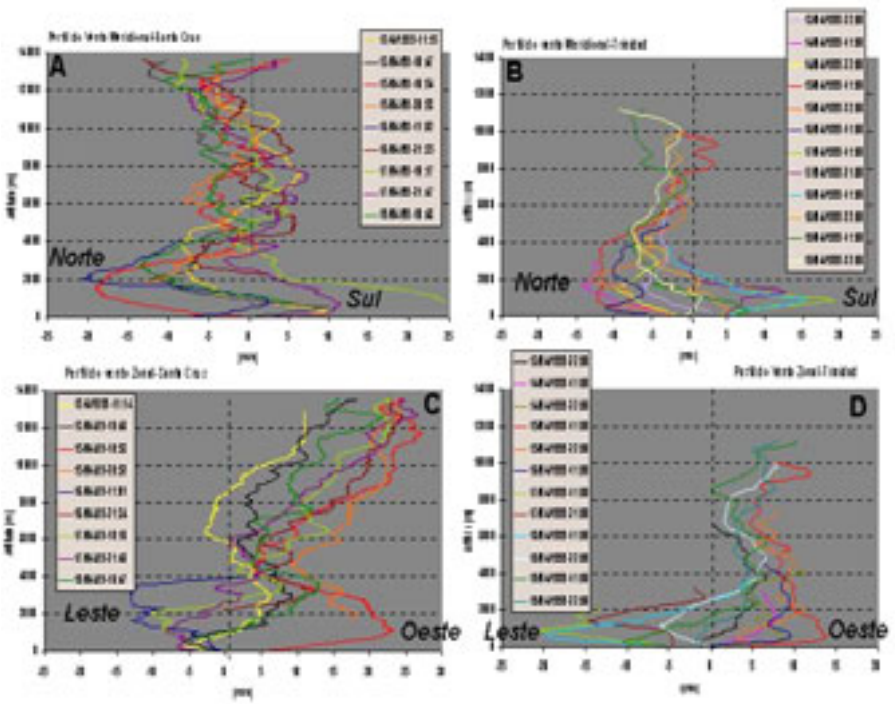

Figura 5. Perfis de vento meridional (a, b) e zonal (c, d) em Santa Cruz e Trinidad durante os episódios de LLJ-SJ de 13-19 de abril de 1999. A escala horizontal é a velocidade em m/s. A linha pontilhada vertical indica o zero do vento meridional. Norte/Sul epresenta fluxo de norte/sul. A coordenada vertical esta em metros.

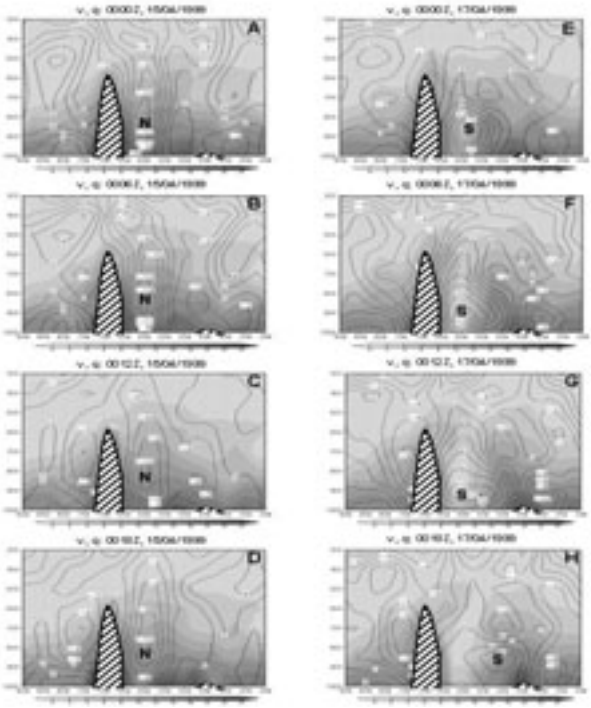

Figura 6. Corte vertical da componente meridional do vento (m/s) e da umidade especifica (g/kg) derivado das reanálises do NCEP durante 15 de abril 1999 (episódio de LLJ) e 17 de abril de 1999 (episódio de SJ) às 0000, 0600, 1200 e 1800 Z. A latitude do corte corresponde a 17.5 S. Também é indicada a localização aproximada dos Andes.

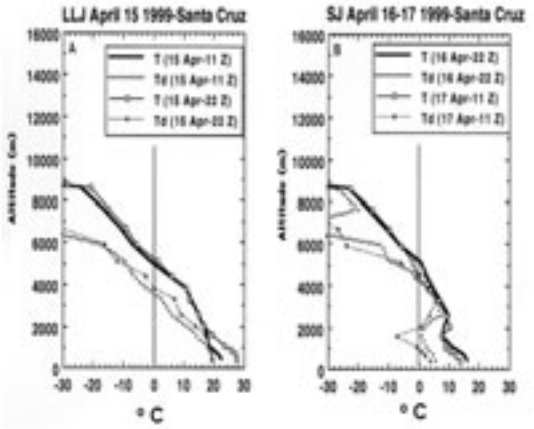

Figura 7. Perfis de temperatura do ar e ponto de orvalho em Santa Cruz (Bolívia) durante os episódios de LLJ (a) e SJ (b).