

Revista Brasileira de Meteorologia, volume 14, número 1, 1999 (23 - 34)

**UM ESTUDO DAS FLUTUAÇÕES DE
TEMPERATURA PARA O PERÍODO DE INVERNO
NA AMÉRICA DO SUL, CORRELACIONANDO A
PATAGÔNIA COM O SUL DO BRASIL**

ALEXANDRE BERNARDES PEZZA E TÉRCIO AMBRIZZI

Departamento de Ciências Atmosféricas
Instituto Astronômico e Geofísico
Universidade de São Paulo
Rua do Matão, 1226. Cidade Universitária
CEP : 05508-900 - São Paulo, SP, Brasil
e-mail: alepezza@model.iag.usp.br

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo correlacionando temperaturas entre a região Patagônica e o sul do Brasil durante o período de inverno. Definiu-se duas regiões de interesse, uma centrada no sul do Brasil (“caixa norte”) e outra na Patagônia (“caixa sul”). Foram utilizados os dados da reanálise do NCEP para JJA de 1990 a 1996, calculando-se médias e anomalias mensais de temperatura para cada região, e correlacionado-se as anomalias. Campos de geopotencial, vento e umidade relativa foram utilizados com o intuito de obter-se a circulação atmosférica de grande escala associada às anomalias de temperatura.

Observou-se que anomalias negativas em uma caixa e positivas na outra, o que foi chamado de “padrão inverso” (PI), ocorreram em cerca de 60% dos meses tanto em 1000 quanto em 500 hPa. O coeficiente de correlação linear obtido entre as anomalias mensais de temperatura nas duas caixas para o período de sete anos estudado foi, segundo o método dos mínimos quadrados, de -0.78 em 500 hPa, com intervalo de confiança de 98.5% para o coeficiente angular, de acordo com o teste tStudent. Isto sugere que o padrão de aquecimento anômalo na Patagônia junto com resfriamento anômalo no sul do Brasil (ou vice-versa) foi dominante na série.

Os resultados sugerem que os casos de PI estão associados à anomalias na circulação atmosférica, especialmente no que diz respeito à modulação da alta subtropical, anticiclones de bloqueio, posição do jato e regime de subsidência, uma vez que a propagação de sistema frontais é muito dependente destes fatores. É provável que a variabilidade da TSM do Pacífico e Atlântico tenham pesos importantes na determinação dos padrões, embora o período de estudo tenha sido muito curto para a obtenção de uma correlação significativa.

ABSTRACT

This work shows a climatological study correlating temperatures between the Patagonia region and the Central-South Brazil area during winter time, defining for this purpose two “boxes” of interest. The first one was centered in southern Brazil and called north box, and the other was located at Patagonia, and denominated south box. We used the NCEP reanalysis data for the period of 1990-1996. Mean temperature and anomalies were obtained, and the geopotential height, wind, and relative humidity were used with the aim of reveal the large-scale circulation associated with monthly anomalies.

The results showed that when there was negative anomalies in one box, there was positive in the other, what was called “Inverse Pattern” (IP), and it occurred with a monthly frequency of around 60% at both lower and medium levels. The linear correlation coefficient obtained between the monthly temperature anomalies in these boxes for the seven years period studied was -0.78 in 500 hPa, with a confidence interval of 98.5% in respect to the angular coefficient, according to the t-Student test.

There is a suggestion that many IP cases are linked to anomalies in the atmospheric circulation, specially in terms of Subtropical High, blocking anticyclones and frontal systems propagation. The analyses of the circulation indicates that the position and intensity of the jet stream appears to be very important, acting as a block for northward frontal system propagation or facilitating the cold advection in northern latitudes.

1. INTRODUÇÃO

O mecanismo de propagação de ondas de frio na América do Sul (AS) é algo extremamente complexo que ainda não está totalmente resolvido. Poder prever se um determinado inverno será mais frio ou mais quente que o normal e se haverá casos de geada em latitudes baixas seria de fundamental importância para uma série de atividades sociais.

Em termos climáticos, a queda de neve e ocorrência de geada no sul do Brasil não são eventos muito raros. Calbete (1996), indicou que de 1988 à 1996 houveram 27 casos de neve, além de 42 casos de geadas muito intensas e generalizadas na região. Diversos trabalhos têm explorado os padrões sinóticos e dinâmicos associados à propagação de ar frio desde o extremo sul do continente até regiões tropicais. Myers (1964), e Parmenter (1976), por exemplo, estudaram casos de passagem de frentes frias para além do Equador. Hamilton e Tarifa (1978), mostraram que um evento de geada no sudeste do Brasil, ocorrido em julho de 1972, foi precedido por uma rápida ciclogênese na região do Chaco, na presença de uma profunda camada de ar frio ao redor de 35°S e de um anticiclone polar em desenvolvimento na região Patagônica, com trajetória bastante meridional.

Girardi (1983) analisou a forte geada ocorrida nos Trópicos em 1975, considerada uma das mais intensas do século, e concluiu que naquele caso um ciclone situado próximo às ilhas Malvinas desempenhou um papel fundamental para o acúmulo de ar frio no extremo sul do continente durante o início do evento.

Mais recentemente, Marengo et al (1997B) mostraram que um evento extremo ocorrido em junho de 1994 teve conseqüências dramáticas para a produção de café no Sudeste do Brasil. Na Argentina, a irregularidade das nevas nos centros de esqui pode acarretar sérios prejuízos para o turismo de inverno, enquanto a Patagônia austral pode sofrer sérios transtornos sociais em ocasiões de muita neve e frio.

Outros trabalhos obtiveram resultados semelhantes, dentre os quais pode-se citar Fortune e Kousky (1983), Satyamurty et al (1990), Seluchi (1992), Dapozzo e Silva Dias (1994), Algarve (1996), Marengo et al (1997A), Vera e Vigliarolo (1998), e Seluchi e Marengo (1998).

Estudos correlacionando diretamente temperaturas entre o sul do Chile e Argentina e o centro-sul do Brasil são praticamente inexistentes na literatura. Neste

trabalho, mostra-se que invernos muito frios no sul da Argentina podem estar associados a invernos quentes no sul do Brasil, e que, por outro lado, invernos mais frios que o normal no sul do Brasil podem estar associados a invernos muito quentes na região Patagônica. Os invernos de 1995 e 1996 são bons exemplos disso (Pezza e Ambrizzi, 1998).

Em 1995, o sul da Patagônia teve um dos invernos mais rigorosos dos últimos tempos, com nevadas intensas e duradouras e temperaturas muito baixas (Servicio Meteorológico Nacional, comunicação pessoal). O aeroporto de Bariloche (840m ,41°09'S , 71°10'W) registrou 14 dias de neve durante julho (enquanto o normal é 5), e uma temperatura mínima de -19.4°C , que bateu o recorde histórico 1961-1994, enquanto algumas cidades mais ao sul ficaram com comunicações aéreas e terrestres interrompidas e fornecimento de energia cortado, amargando um prejuízo de elevada cifra. Ao mesmo tempo, o sul do Brasil apresentou um inverno muito quente, com anomalias da ordem de $+3^{\circ}\text{C}$ e registros de até 33°C em São Paulo durante agosto. Nascimento e Ambrizzi (1996) e Alessandro (1996) mostraram que houve uma alta incidência de bloqueios atmosféricos nesse inverno.

Em 1996, verificou-se basicamente o inverso, com massas frias muito fortes atuando no sul do Brasil e provocando neve por mais de uma vez nos arredores de São Joaquim, na serra catarinense. Segundo as análises climáticas mensais do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos), o sul do Rio Grande do Sul teve anomalias de temperatura da ordem de -3°C no mês de julho. Enquanto isso, boa parte do sul da Argentina, especialmente a região próxima à cordilheira, apresentou anomalias positivas de temperatura e negativas de precipitação, impedindo muitos centros de esqui de funcionar (Pezza e Caruzzo, 1996).

Estas questões motivaram a delimitação de duas caixas (ou regiões) de estudo, uma na Patagônia e outra no sul do Brasil, com o objetivo de verificar se as anomalias de temperatura nas duas regiões apresentaram índices de correlação estatisticamente significativos durante a última década. No decorrer do trabalho será mostrado qual o comportamento das anomalias de temperatura nas duas regiões durante o período de 1990 a 1996, com um estudo mais detalhado dos casos em que as anomalias de temperatura tiveram sinais opostos, os quais foram chamados de “padrão inverso”. As principais configurações da circulação atmosférica de grande escala associadas e eventuais fenômenos de teleconexão também são explorados.

2. DADOS E METODOLOGIA

Utilizou-se os dados diários (00, 06, 12 e 18 UTC) da *reanálise* (Kalnay et al, 1996) do NCEP (National Center For Environmental Prediction), para o período de inverno (JJA) de 1990 a 1996. Todas as variáveis meteorológicas básicas (temperatura, vento, geopotencial, etc) foram selecionadas, considerando-se uma área entre 0 e 60°S e 10 e 110°W. Foram analisados os níveis de 1000, 850, 500, 250 e 100 hPa.

Duas áreas específicas foram delimitadas para o cálculo das correlações, a primeira entre 20 e 30°N e 35 e 65°W e chamada de “caixa norte” (CN) e a segunda situada entre 37 e 47°S e 50 e 80°W e chamada de “caixa sul” (CS). Destaca-se que a delimitação destas regiões específicas não obedeceu um critério numérico e não baseou-se em referências existentes na literatura. Elas foram tomadas empiricamente a fim de testar a hipótese da existência de um sinal forte de correlação de temperatura entre a Patagônia e o sul do Brasil.

Foram calculadas médias mensais e trimestrais (inverno) para os sete anos de dados, determinando-se a respectiva “climatologia” de referência e as anomalias, para todos os níveis verticais utilizados.

Foi definido como portador de “padrão inverso” (PI) o período mensal no qual as anomalias de temperatura foram positivas na região mais ao norte e negativas ao sul (ou vice-versa). Para a identificação de um caso deste tipo, pode-se recorrer simplesmente à uma inspeção visual das anomalias nas caixas e verificar-se se de fato a distribuição espacial das anomalias é tal que predominem anomalias com um determinado sinal em uma caixa e sinal oposto na outra. Este critério será referido como “critério qualitativo”.

Para facilitar a identificação de padrões inversos muito intensos, foi criado um índice de intensidade. Computou-se a média espacial das anomalias de temperatura nas duas caixas, de modo que somente quando uma caixa tenha apresentado um valor maior ou igual a 1°C, em módulo, e a outra uma anomalia maior ou igual a 0.5°C, porém com sinal oposto, o evento seria computado como padrão inverso intenso. Este critério foi determinado empiricamente de modo que se ajustasse aos valores de anomalias calculados, e será referido como “critério numérico”.

Para complementar as informações, foram consultados dados diários de temperatura e precipitação do Aeroporto de Bariloche e da Estação do IAG-USP, em São Paulo, durante os invernos de 1995 e 1996. Finalmente, também foram utilizadas

normais climatológicas de temperatura para algumas Estações Argentinas, Paraguaías, Chilenas e Brasileiras para a comparação com as médias obtidas pela reanálise do NCEP, e por questões de brevidade os resultados serão apenas citados no texto. A localização das Estações utilizadas está indicada através de pontos, na figura 1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 mostra a temperatura média para o trimestre JJA (1990-1996) para as caixas sul e norte, em 1000 hPa, segundo a reanálise do NCEP (Incluir figura 1). Essas temperaturas médias foram usadas como a “climatologia” de referência para o cálculo das anomalias.

É interessante comentar que, apesar do reduzido número de anos, e de algumas possíveis inconsistências na reanálise (Kalnay et al, 1996), foi feita uma comparação com as normais climatológicas das Estações indicadas na figura 1, o que mostrou uma boa proximidade nos dados. Além disso, a distribuição espacial das médias está consistente com a climatologia de inverno da AS (Vide, por exemplo, Schwerdtfeger, 1976).

3.1 Determinação e análise das anomalias de temperatura nas caixas

A figura 2 mostra a evolução mensal das temperaturas médias (2A e 2C) e respectivas anomalias (2B e 2D) em 1000 e 500 hPa para as duas “caixas” durante os invernos de 1990 a 1996. (Incluir Figura 2)

Observando-se as flutuações de temperatura, percebe-se que em 1000 hPa (Fig. 2A) o mês mais quente para a caixa sul foi junho de 94, com média de 10.0°C, e o mês mais frio foi julho de 92, com 6.1°C. Em 500 hPa (Fig. 2C), os valores médios oscilaram entre -21.7°C em agosto de 1990 e -27.5°C em julho de 95. Na caixa norte, os valores extremos oscilaram entre um máximo de 21.2°C em agosto de 1995 e um mínimo de 17.0°C em julho de 1996, para 1000 hPa, e entre -8.7°C e -13.0°C em 500 hPa, igualmente para agosto de 95 e julho de 96, respectivamente.

O desvio padrão da média (não mostrado) indica que para a caixa sul a variabilidade das temperaturas mensais foi maior em 500 hPa, com um desvio padrão de

1.5°C, porém para a caixa norte o desvio próximo à superfície foi um pouco superior ao desvio em 500 hPa, com 1.2°C.

Em termos de anomalias de temperatura em 1000 hPa (fig. 2B), a maior anomalia positiva ocorrida na caixa sul foi de +1.6°C em junho de 94, coincidindo com a mais alta média registrada, por outro lado a anomalia negativa mais expressiva foi de -1.9°C em agosto de 95, apesar do mesmo não ter sido o mês mais frio da série (as anomalias foram calculadas com relação às médias mensais). Para a caixa norte, a maior anomalia positiva ocorreu em julho de 95, com +1.9°C, enquanto a anomalia negativa mais intensa foi de -1.6°C em junho de 96.

Por outro lado, para as anomalias em 500 hPa (fig. 2D), os valores extremos na caixa sul foram de -3.6°C em agosto de 95 e +2.2°C em julho de 96, e na caixa norte registrou-se -1.6°C em agosto de 92 e +2.2°C em agosto de 95. Os desvios padrões das anomalias tiveram valores muito próximos aos desvios das médias.

É interessante comentar que tanto os máximos de temperatura quanto os de anomalia não foram necessariamente registrados no mesmo período entre 1000 e 500 hPa. Além disso, as figuras 2B e 2D mostram claramente uma tendência de um pico positivo de anomalia em uma caixa ser acompanhado por um pico negativo de anomalia na outra, indicando uma grande frequência de casos com o “padrão inverso” (PI) de temperatura.

Conforme discutido no item 1., um dos mais intensos casos de PI ocorreu em 1995, quando a caixa sul apresentou temperaturas muito abaixo do normal e a caixa norte apresentou aquecimento anômalo, e também em 1996, quando verificou-se exatamente o contrário, especialmente em 500 hPa. Para 500 hPa elaborou-se um gráfico de dispersão entre as anomalias nas caixas sul e norte, com um ajuste linear pelo método dos mínimos quadrados, como mostra a figura 3. (Incluir figura 3)

A figura 3 mostra um ajuste para as anomalias em 500hPa com coeficiente de correlação linear de -0.78 e intervalo de confiança de 98.5% para o coeficiente angular, segundo o teste t-Student. Este ajuste sugere que os casos de PI induziram uma linearidade negativa entre as regiões, ou seja, meses quentes no sul do Brasil tenderiam a ser frios na Patagônia, e vice-versa.

Caso os eventos intensos de 1995 e 1996 sejam excluídos do ajuste, o que se obtém é um coeficiente bem menor (em módulo), mais ainda negativo (-0.44), o que indicaria um comportamento menos linear porém ainda com uma tendência de

aquecimento no sul do Brasil ser acompanhado de resfriamento na Patagônia (e vice versa). Na realidade, estes resultados sugerem que apesar dos anos de 1995 e 1996 indiscutivelmente terem influenciado fortemente a série, para o período restante (1990-1994) também houve uma tendência de haver casos de “padrão inverso”. Em 1000 hPa os casos de PI não foram estatisticamente significativos, apesar de perfeitamente identificáveis nas figuras 2A e 2B.

Para o período de 1990 à 1996, apenas o ano de 1992 experimentou dois tipos de “padrão inverso” no mesmo trimestre JJA, o que significa que, apesar do período utilizado ser muito curto para que se possa falar em termos estatísticos, se um determinado ano apresentar em seu primeiro mês de inverno um tipo de PI, a maior probabilidade é de que ou o padrão seja quebrado nos dois meses subsequentes ou então que ele persista, mas não de que haja uma inversão dentro de um mesmo ano.

Em outras palavras, se um determinado mês de junho for quente na Patagônia e frio no sul do Brasil, é maior a probabilidade de que ou o padrão seja mantido durante julho e agosto, ou então de que haja um retorno à normalidade, e é baixa a probabilidade de que a Patagônia passe a ficar fria e o sul do Brasil quente, ainda durante o mesmo inverno. Especula-se que isto provavelmente esteja relacionado à circulação atmosférica de grande escala associada aos padrões inversos de temperatura, impondo um regime de ondas na atmosfera que dificilmente poderia ser invertido em escala de tempo trimestral. Maiores detalhes serão discutidos no item 3.2, onde é abordado o significado físico dos padrões inversos.

Adotando-se o critério qualitativo (item 2) para o total de 21 meses amostrados (JJA 1990-1996), verificou-se que um total de 12 meses apresentaram Padrão inverso tanto em 1000 quanto em 500 hPa, o que equivale a cerca de 57% dos casos. Destes, metade correspondeu à aquecimento anômalo na Patagônia e resfriamento anômalo no sul do Brasil, e metade correspondeu ao contrário.

Pelo critério numérico (item 2), por outro lado, apenas três meses foram classificados como PI (cerca de 14%) em 1000 hPa, e cinco meses (cerca de 24%) em 500 hPa. Destaca-se que por este critério são identificados apenas os eventos realmente intensos e extensos, nos quais as anomalias dominaram quase a totalidade da área das caixas. Em 1000 hPa foram identificados julho de 90, julho de 95 e agosto de 95, e em 500 hPa acrescentam-se ainda agosto de 90 e Julho de 96 (vide figura 2).

3.2 Estudos de caso – Processos físicos associados aos “padrões inversos”.

A seguir são apresentados estudos de caso mais detalhados para os dois eventos de padrão inverso mais intensos (Julho/Agosto de 95 e julho de 96). A figura 4 mostra as anomalias de temperatura nas caixas sul e norte para agosto de 95 e julho de 96. (Incluir figura 4)

Em agosto de 95 (fig. 4A), pode-se observar um núcleo de anomalia negativa de -2.6°C no nordeste da Patagônia, sendo que todas as demais regiões da caixa sul apresentaram anomalias negativas superiores em módulo a 1°C . Na caixa norte, observa-se um núcleo de anomalia positiva de $+3^{\circ}\text{C}$ no interior de São Paulo, ao passo que apenas o extremo sudoeste apresentou anomalias negativas, sob influência do sistema de anomalias que atuou na caixa sul. Situação muito semelhante ocorreu em Julho deste mesmo ano, que foi considerado como parte do mesmo evento.

A figura 5A mostra a posição do jato em altos níveis associado à este período (agosto de 95), indicando uma intensidade maior que o normal do mesmo em latitudes ao sul da média climatológica, que fica ao redor de 27 à 32°S , com cerca de 35m/s (Schwerdtfeger, 1964 e 1976; Peixoto e Oort, 1992). Este fato provavelmente favoreceu o padrão de anomalias de temperatura apresentado, uma vez que os sistemas frontais tenderam, em média, a ficar estacionados no Uruguai e sul do RS, sem suporte em altos níveis para progredir em direção à região Sudeste do Brasil. Além disso, a região da caixa sul apresentou ventos anômalos de Sudoeste, contribuindo para um aporte de ar frio significativo (Alessandro, 1996), e uma circulação do tipo Alta da Bolívia esboçou-se entre ao redor de 12°S , 69°W , o que é totalmente fora do padrão climatológico esperado para o período de inverno (Schwerdtfeger, 1976), refletindo as condições intensas de bloqueio anticiclônico a que estiveram submetidas as regiões subtropicais e tropicais da AS neste período.

Em julho de 96 (figura 4B) a situação foi bem diferente, com anomalias positivas na Patagônia e anomalias negativas em toda a caixa norte. Neste caso, ao contrário de agosto de 95, o jato subtropical esteve mais fraco e mais ao norte que o normal no continente, porém intenso nos oceanos, desempenhando um papel fundamental no sentido de canalizar a propagação dos sistemas frontais em direção ao Sudeste do Brasil, como mostra a figura 5B.

Deve ser notado também que o anticiclone em altos níveis formado em 95 nas regiões tropicais não se configurou neste caso. Além disso, realizando um refinamento de contorno na figura 5B (não mostrado), verifica-se indícios de um jato polar ao redor de 60°S, 70°W, associado a uma região de ventos relativamente mais calmos na região Patagônica. Isto ajuda a explicar a diminuição dos gradientes de temperatura entre a Patagônia e o norte da Argentina e as anomalias positivas de temperatura na caixa sul. (Incluir figura 5)

Na figura 6, apresenta-se as anomalias de geopotencial em 500 hPa para agosto de 1995 e julho de 1996. Em agosto de 95 (Figura 6A) ficou bastante evidente uma anomalia anticiclônica centrada em 25°S, 31°W, certamente associada às anomalias positivas de temperatura na caixa norte. Esta alta de bloqueio, ou alta quente, prolongou-se desde baixos níveis até 250 hPa, sendo a responsável pela intensificação do jato subtropical.

Uma possível explicação para o estabelecimento da alta de bloqueio neste caso reside no fato da TSM (Temperatura da Superfície do Mar) do Atlântico no Hemisfério Norte ter apresentado anomalias positivas intensas, segundo as análises climáticas mensais do CPTEC, aumentando a convecção naquela região e induzindo um regime de subsidência anômala na costa do Brasil, pelo deslocamento da célula de Hadley para o sul. Esta configuração favorece o bloqueio de sistemas frontais no extremo sul do Brasil. Além disso, pode-se destacar também a associação de anomalias negativas de geopotencial na caixa sul e positivas a SW da AS (Figura 6A), contribuindo para um maior confinamento do ar frio na região Patagônica.

Em julho de 96, por outro lado (Figura 6B), verificou-se um regime oposto, com um vórtice de anomalia negativa bastante expressiva na costa sul do Brasil (-60mgp) e uma alta anômala no sul da Patagônia (+80mgp), contribuindo muito para o aporte de ar frio em direção à caixa norte, por considerações de vento geostrófico. (Incluir figura 6)

As análises das anomalias de geopotencial sugerem que os eventos de PI estão relacionados com anomalias de grande escala, onde a circulação atmosférica normal está alterada, forçando um deslocamento mais eficiente de ar polar em direção aos trópicos ou um bloqueio das massas frias ao redor de 30°S. Observou-se também que em julho e agosto de 95, especialmente no primeiro caso, a caixa norte apresentou anomalias de vento norte bastante intensas, canalizando um fluxo de ar quente desde o oeste da Amazônia, enquanto a caixa sul apresentou anomalias de vento sul, em 1000 hPa (figura 7A), o que pode justificar os padrões de anomalias de temperatura.

Entretanto, em julho de 96 a caixa norte apresentou anomalias de vento sul/sudoeste em 1000 hPa (figura 7B), estando de acordo com a inversão do padrão de anomalias de temperatura. (Incluir figura 7)

Em agosto de 1995 foi diagnosticada uma região de anomalia negativa intensa de umidade relativa no norte da Argentina (Figura não mostrada), possivelmente em associação ao bloqueio de sistemas frontais mais ao sul. Os centros semi-permanentes de alta pressão dos oceanos também foram estudados para os dois casos, e verificou-se que em julho de 96, quando o sul do Brasil apresentou resfriamento, a alta do Atlântico esteve dentro da normalidade, porém a alta do Pacífico esteve muito mais fraca e menos definida que o normal, aparecendo no entanto uma crista de alta pressão em toda a região Patagônica e Argentina central, com média de 1022 em 35°S. Esta região continental de alta pressão em baixos níveis possivelmente foi a responsável pelo regime de subsidência e aquecimento anômalos verificados na caixa sul, e pelas anomalias negativas de temperatura na caixa norte.

Em contrapartida, durante o inverno de 1995, no qual houve resfriamento na Patagônia e aquecimento no sul do Brasil, a Alta do Pacífico esteve intensa porém muito mais ao sul de sua posição climatológica, atingindo 1024 hPa, em média, ao redor de 50°S, 110°W, durante o mês de julho. A alta do Atlântico esteve bastante fortalecida especialmente em agosto, projetando uma crista anômala em direção ao continente.

Fisicamente, a causa dos padrões deve ser explorada em termos de teleconexões com outras regiões da atmosfera, sobretudo no tocante à convecção tropical e às anomalias de TSM no Pacífico e Atlântico, que são fenômenos interligados (Asnani, 1993 e Riehl, 1979). A Alta Subtropical do Atlântico Sul, por exemplo, possui uma grande variabilidade dependente do Dipolo do Atlântico e de sua distribuição geral de TSM (Kapala et al, 1998, e Machel et al, 1998), e parece ter uma influência importante no estacionamento ou não de sistemas frontais ao sul da caixa norte (Ito e Ambrizzi, 1998).

De qualquer modo, também destaca-se que em anos de El Niño há uma tendência geral de fortalecimento do jato subtropical (Ambrizzi, 1994, por exemplo), e portanto pode-se especular a possibilidade de aquecimento anômalo da caixa norte em tais situações, o que entretanto requer estudos futuros. Além da intensidade, a posição e sobretudo orientação do jato também parecem ser importantes (p. ex., Inazawa e Ambrizzi, 1996).

4. CONCLUSÕES

Através deste trabalho, pôde-se determinar a existência de períodos mensais marcados por anomalias bem definidas de temperatura com sinais opostos entre a região sul do Brasil e a Patagônia.

O estudo de casos de Padrão Inverso (PI), mostrou que para o período de JJA de 1990-1996 a porcentagem de meses nestas condições variou entre 57% para um critério apenas qualitativo e 24% para um critério numérico mais restritivo, segundo o qual apenas os eventos muito intensos e abrangentes fossem escolhidos.

Verificou-se para as “caixas” de estudo uma correlação linear negativa entre as anomalias de temperatura bastante significativa em 500 hPa, onde ajustou-se um modelo com um coeficiente de correlação de -0.78 e um intervalo de confiança de 98.5% pelo teste t-Student.

As regiões de anomalias negativas de temperatura associaram-se a ventos anômalos do quadrante sul, e as regiões de anomalias positivas associaram-se à formação de centros de alta pressão anômalos na média e alta Troposfera, em geral com ventos anômalos do quadrante norte. Os resultados mostram que determinados tipos de circulação atmosférica na AS podem ser apontados como prováveis causas dos padrões inversos de temperatura nas caixas, dependendo de diversos fatores como por exemplo o favorecimento ou não ao estacionamento de sistemas frontais, ocorrência ou não de bloqueios atmosféricos e respectiva posição, intensidade e posição do jato subtropical, dentre outros.

Anomalias positivas de temperatura na caixa norte associaram-se com o fortalecimento do jato em latitudes ao sul de sua posição climatológica média, com orientação preferencial de NW para SE, enquanto anomalias negativas na caixa norte normalmente estão associadas com o jato mais fraco que o normal e ao norte de sua posição climatológica.

Os resultados deste trabalho sugerem que a variabilidade da TSM do Atlântico pode eventualmente exercer algum tipo de controle sobre as anomalias de temperatura nas caixas, uma vez que possui influência sobre a intensidade e posição da Alta Subtropical, a qual pode atuar como bloqueio para a propagação de sistemas frontais. Em termos do evento El Niño, o período de estudo precisaria ser maior para que pudesse ser possível encontrar alguma correlação significativa.

Como sugestão de continuidade desta pesquisa, achamos que pode ser muito importante a determinação de uma climatologia de “padrões inversos” de temperatura

com base em uma série de dados muito mais ampla, abrangendo pelo menos um período de 30 anos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FAPESP pelo suporte financeiro da bolsa de Iniciação Científica e, recentemente, pela bolsa de Mestrado concedida. Também agradecem ao IAG da USP e técnicos de informática do Depto. de Ciências Atmosféricas, pela importante ajuda prestada.

Finalmente, um especial agradecimento é dedicado à nossos revisores, que contribuíram muito para o aprimoramento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ALESSANDRO, A. P. Consecuencias de la situacion del Bloqueo de Julio de 1995 sobre Argentina. **Anais** do IX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Campos do Jordão, SP, 6 -13 de nov, vol. 1, 455 - 459, 1996.
- ALGARVE, V. R. Geadas np Brasil. **Climanálise Especial**, Edição comemorativa de 10 anos. MCT/INPE- CPTEC, 123-128, 1996.
- AMBRIZZI, T. Rossby Wave Propagation on El Nino and La Nina non-zonal basic flows. **Revista Brasileira de Meteorologia**, volume 8/9, números 1-1, pp 54 a 65, 1994.
- ASNANI, G. C. **Tropical Meteorology**. Indian Institute of Tropical Meteorology. Pashan, Pune (India). Volumes 1 e 2, aprox. 500 pp., 1993.
- CALBETE, N. O. DE. Casos de ocorrência de Geadas e Neve sobre a Região Sul do Brasil - Período de 1988 à 1996. **Climanálise Especial**, Edição comemorativa de 10 anos. MCT/INPE- CPTEC, 129-130, 1996.
- DAPOZZO, J., e M. A. F. SILVA DIAS. Um estudo de caso da penetração do ar polar em latitudes baixas: Julho de 1988. **Anais** do VIII CONG. BRAS. METEO., Belo Horizonte, MG, 601-606, 1994.
- FORTUNE, M., e V. E. KOUSKY. Two severe freezes in Brazil: precursors and synoptic evolution. **Mon.Wea.Rev.**, 11, 181-196, 1983.

- GIRARDI, C. El Pozo de los Andes. **Proceedings**, FIRST INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY. São Jose dos Campos, São Paulo, Brazil. *Amer. Meteor. Soc.* 226-229, 1983.
- HAMILTON, M. e J. TARIFA. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, July 1972. **Mon. Wea. Rev.** , 106, 1545-1556, 1978.
- INAZAWA, E. E., e T. Ambrizzi. Modelagem numérica da interação entre correntes de jato subtropical e sistemas frontais - Simulação inicial. **Anais** do IX CONG. BRAS. METEO., Campos do Jordão, SP, 6-13 de nov, vol. 2, 949 a 952, 1996.
- ITO, E. R. K., e T. AMBRIZZI. O uso de um modelo traçador de anticiclones no estudo da alta subtropical do Atlântico Sul. **Anais** do X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, DF, 26 à 30 de outubro. volume único disponível em CD-ROM, 1998.
- KALNAY, E., KANAMITSU, M., e outros. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, vol.77, núm. 3, 437-471, 1996.
- KAPALA, A., H. MACHEL e H. PLOHN. Behavior of the centers of action above the Atlantic since 1881: Part II: Associations with regional climate anomalies. **Int. J. Climatol.**, 18, 23-36, 1998.
- MACHEL, H., A. KAPALA e H. FLOHN. Behavior of the centers of action above the Atlantic since 1881: Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. **Int. J. Climatol.**, 18, 1-22, 1998.

- MARENGO, J. A., A. CORNEJO, N. C. OYAMBURO e I. F. A. CAVALCANTI. Estudo de caso da primeira massa de ar frio em 1996 no sul do Brasil. Observações e resultados do modelo de Circulação Geral da Atmosfera do CPTEC/COLA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 12, 09-24, 1997A.
- MARENGO, J. A., A. CORNEJO, P. SATYAMURTY, C. NOBRE e W. SEA. Cold Surges in the Tropical and Extratropical South America. The strong event in June 1994. **Monthly Weather Review**, 125, 2759-2788, 1997B.
- MYERS, V. A. A Cold Front Invasion of Southern Venezuela. **M. W. R.**, Vol.92, 11, 513-521, 1964.
- NASCIMENTO, E. L., e T. AMBRIZZI. Aspectos dinâmico-sinóticos associados à ocorrência de bloqueios próximos à América do Sul no inverno de 1995. **Anais do IX CONG. BRAS. METEO.**, Campos do Jordão, SP, 6 -13 de nov, vol. 1, 405 a 409, 1996.
- PARMENTER, F. A Southern Hemisphere cold front passage at the Equator. **Bulletin American Meteorological Society**, 57, 1435-1440, 1976.
- PEIXOTO, J.P., e A. H. OORT. **"Physics of Climate"**. American Institute of Physics, New York, 496 pp, 1992.
- PEZZA, A B., e A. CARUZZO. Análise Meteorológica para Refúgios de montanha ao redor de San Carlos de Bariloche - Argentina, em julho de 1996. **Relatório de Campo**, não publicado, disponível na biblioteca do Instituto Astronômico e Geofísico da USP e na biblioteca da Universidade de Comahue, em San Carlos de Bariloche, 29 pp, 1996.

- PEZZA, A. B. e T. AMBRIZZI. Caracterização Climática e Correlações de Temperatura entre a Patagônia e o Sul do Brasil para o Período de Inverno. **Anais** do X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Brasília, DF, 26 à 30 de outubro. Volume único disponível em CD-ROM, 1998.
- RIEHL, H. "**Climate and weather in the tropics**". Academic Press, NY, 1979.
- SATYAMURTY, P.; P. C. ETCHICHURY; C. STUDZINSKI; NURI O. C.; R.R. LOPES; I. A. V. GRAMMELSBACHER e E. A. GRAMMELSBACHER. A primeira friagem de 1990. Uma descrição sinótica. **Climanálise** 5(5), 43-51, 1990.
- SCHWERDTFEGER, W., e D. W. MARTIN. The Zonal Flow of the Free Atmosphere Between 10N and 80S in the South American Sector. **Journal Of Applied Meteorology**, 3, 726-733, 1964.
- SCHWERDTFEGER, W. "Climates of Central and South America". **World Survey of Climatology**. Elsevier, Scientific Publishing Company. Volume 12, páginas 01 à 145, 1976.
- SELUCHI, M. E., e J. T. NERY. Condiciones Meteorologicas Asociadas a la ocurrencia de heladas en la region de Maringá. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 7, 523-533, 1992.
- SELUCHI, M. E., E J. MARENGO. Tropical-Mid Latitude exchange of air masses in South America. PartII: Giagnostic of three cases study of extreme weather situations. **Anais** do X CONGRESSO BRASILEIRO DE

METEOROLOGIA, Brasília, DF, 26 à 30 de outubro. volume único disponível em CD-ROM, 1998.

- VERA, C. S., e P. K. VIGLIAROLO. A Statistical-Dynamical Diagnostic of Cold-Air Outbreaks in Tropical South America. **Anais** do X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Brasília, DF, 26 à 30 de outubro. volume único disponível em CD-ROM, 1998.

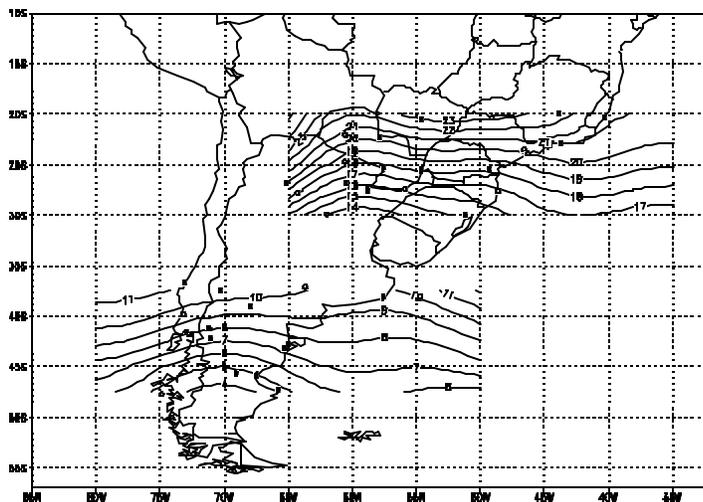


Figura 1: Temperaturas médias (°C) em JJA para as caixas sul e norte em 1000hPa, período de 1990 a 1996, segundo a reanálise. Os pontos indicam a localização das Estações de Superfície.

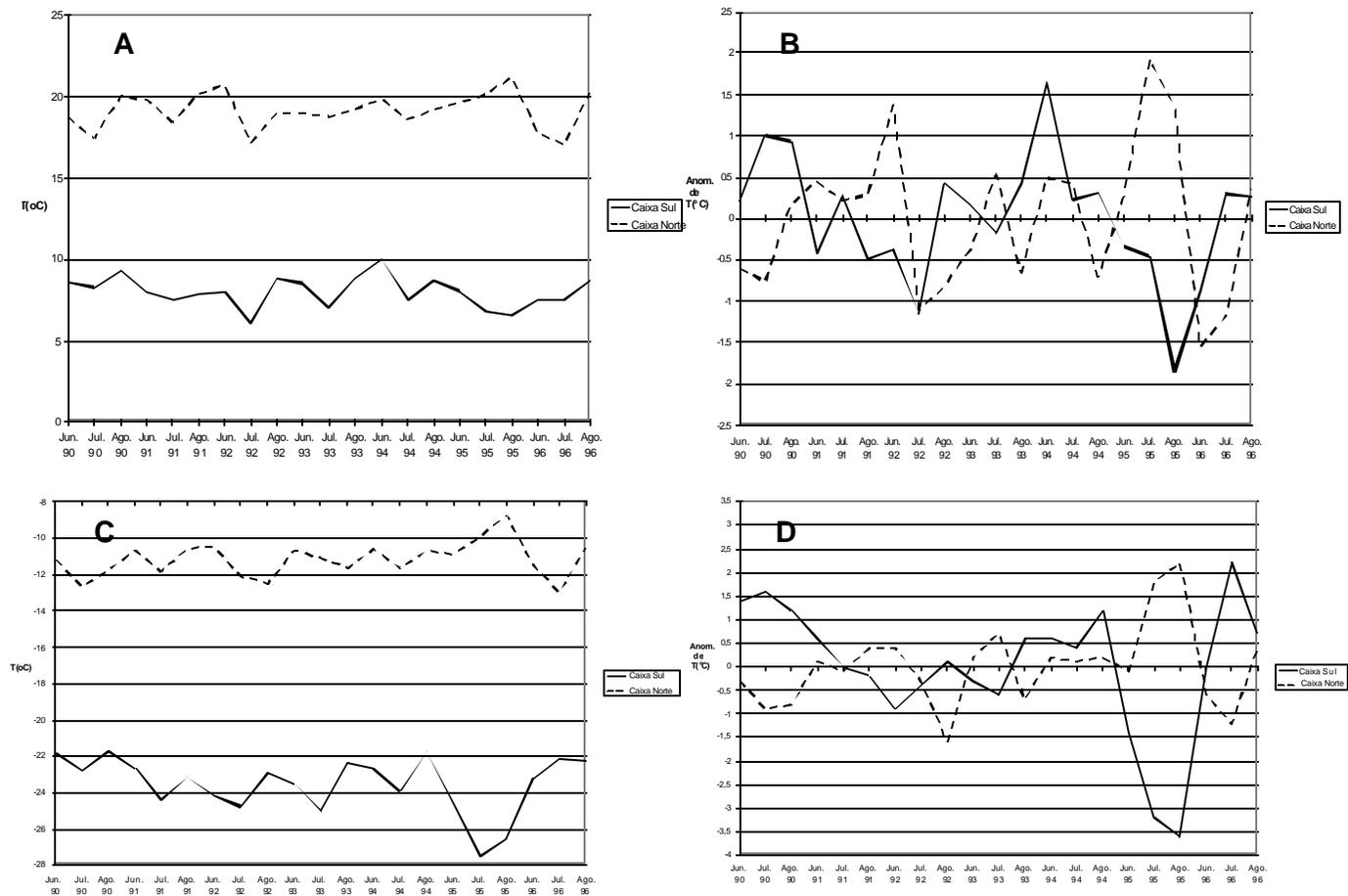


Figura 2: Evolução temporal das temperaturas médias (A e C) e anomalia de temperaturas (B e D) em 1000 hPa e 500 hPa, respectivamente, para as caixas sul e norte.

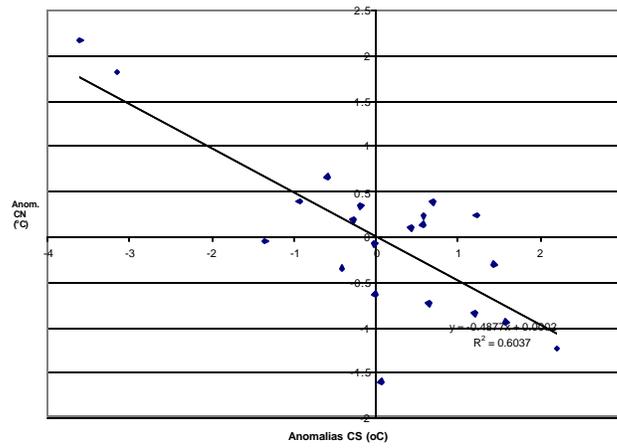


Figura 3: Gráfico de dispersão com respectiva regressão linear para as anomalias em 500 hPa.

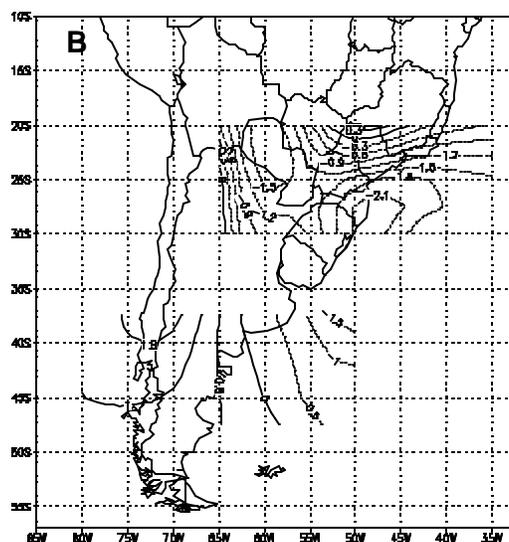
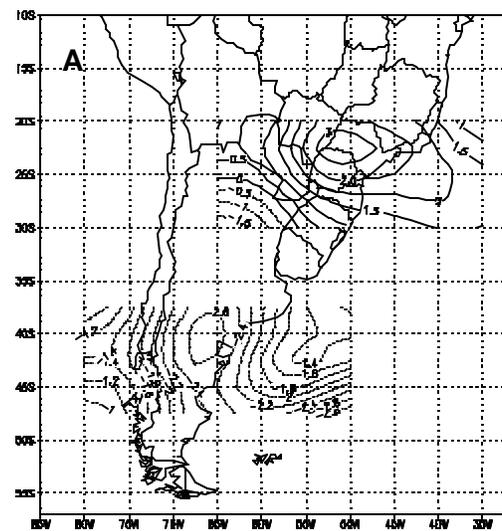


Figura 4: Anomalia de temperatura em 1000 hPa para Agosto de 95 (A) e Julho de 96 (B) nas caixas sul e norte.

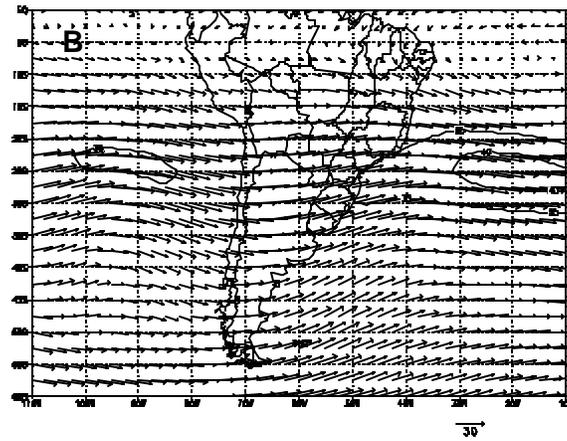
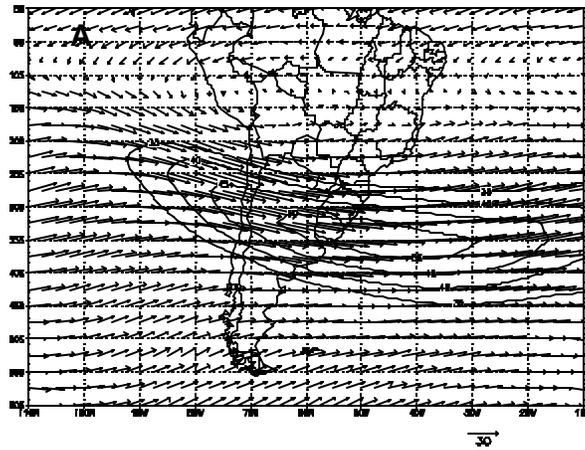
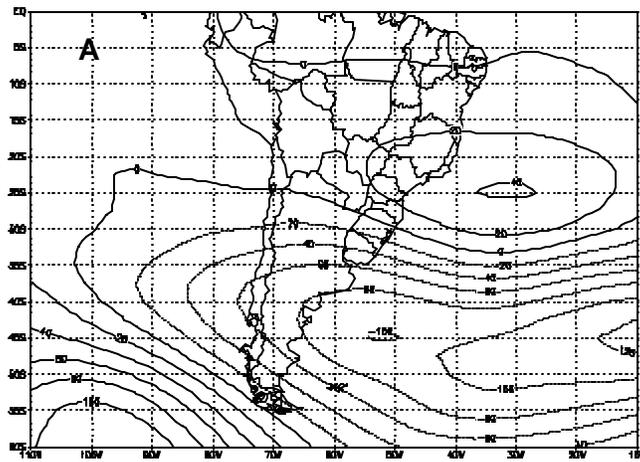


Figura 5: Vento médio em 250 hPa para agosto de 1995 (A) e julho de 1996 (B), com contorno para magnitude superior a 35m/s.



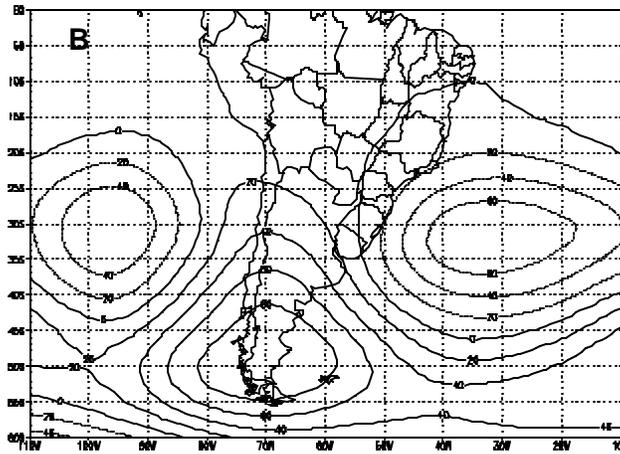


Figura 6: Anomalia de Geopotencial em 500 hPa para agosto de 1995 (A) e julho de 1996 (B).

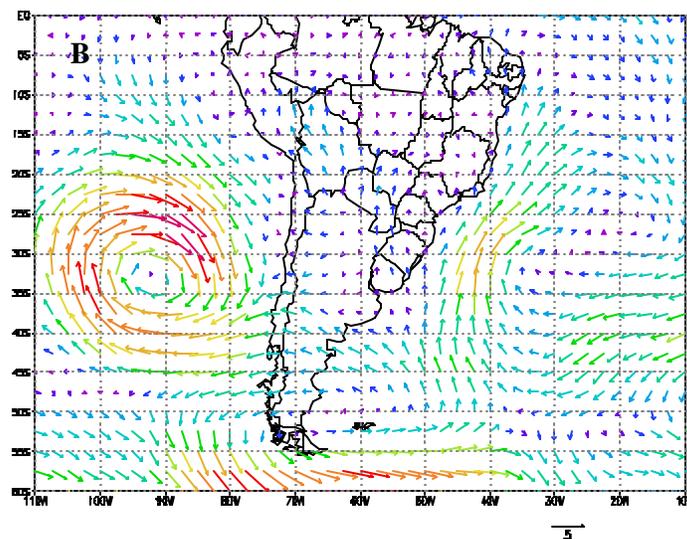
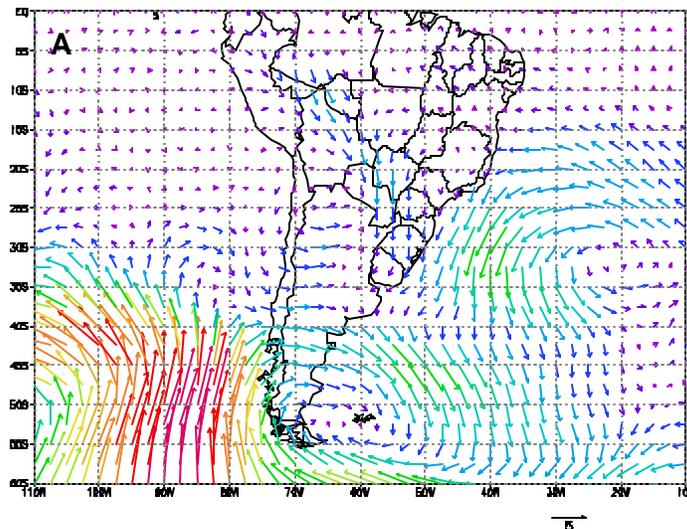


Figura 7: Anomalia de vento em 1000 hPa para Julho de 1995 (A) e Julho de 1996 (B).