



**IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS FRONTAIS EM UMA
SIMULAÇÃO DE 10 ANOS COM O MODELO DE CIRCULAÇÃO
GERAL DA ATMOSFERA CPTEC/COLA NA REGIÃO SUL E
SUDESTE DO BRASIL**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Luiz Henrique Ribeiro Coura da Silva (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: luhenri@cptec.inpe.br

Dra. Iracema F. A. Cavalcanti (DMD/CPTEC/INPE, Orientadora)
E-mail: iracema@cptec.inpe.br

Junho de 2002

IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS FRONTAIS EM UMA SIMULAÇÃO DE 10 ANOS COM O MODELO DE CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA CPTEC/COLA NA REGIÃO SUL E SUDESTE DO BRASIL

Luiz Henrique Ribeiro Coura da Silva¹ (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)

Dra. Iracema F. A. Cavalcanti² (DMD/CPTEC/INPE)

RESUMO

Modelos de previsão sazonal climática, como o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera do CPTEC (MCGA CPTEC/COLA), devem simular o estado climatológico da atmosfera e sua variabilidade. Os resultados mensais climatológicos indicam variações nos campos, que representam a média de situações diárias de cada mês. Algumas dessas variações estão associadas a sistemas de escala sinótica, como sistemas frontais. A região sul e sudeste do Brasil é afetada por sistemas frontais que modificam diversas variáveis atmosféricas, como temperatura, pressão, vento e precipitação. Nessas regiões, os campos médios mensais são afetados pelas ocorrências desses sistemas, portanto para que o modelo apresente uma boa simulação mensal e sazonal, é importante que haja uma boa simulação dos sistemas frontais. O objetivo deste projeto é analisar o comportamento do MCGA CPTEC/COLA com relação a passagens de sistemas frontais pela região sul e sudeste do Brasil, em uma simulação de 10 anos, analisando os dados diários resultantes da simulação. Essa simulação foi realizada com condições forçantes mensais da temperatura da superfície do mar, em nove integrações, para gerar um “ensemble” de resultados. Cada integração partiu de um estado diferente da atmosfera, considerando nove dias consecutivos de novembro de 1981. A análise foi realizada nas quatro estações do ano no período da simulação (1982-1991). O desenvolvimento do trabalho consistiu em geração de programas para tratamento dos dados em arquivos para análise, programas para identificar casos de atuação de sistemas frontais, geração de tabelas, gráficos e campos das variáveis dos casos selecionados. Os programas desenvolvidos consistem em selecionar casos associados a variação de temperatura, pressão, sentido do vento e precipitação. A seleção é baseada em características da passagem de um sistema frontal. Os resultados obtidos mostram que o modelo simula a passagem de sistemas frontais, porém com pouca intensidade com relação à variação de temperatura e pressão, no inverno. Na região sudeste o modelo simula bem as variações de precipitação maiores no verão do que no inverno, com a passagem dos sistemas, e na região sul simula bem a frequência de precipitação associada aos sistemas, maior no inverno e primavera do que no verão e outono. Para analisar as configurações comuns simuladas pelo modelo nos casos selecionados, foram feitos compostos dos casos para cada estação, onde pode-se notar as características associadas, em diversas variáveis da atmosfera. Sugere-se como estudo complementar, a análise da variabilidade interanual da frequência dos sistemas, associada as anomalias de grande escala na atmosfera.

¹ Aluno do Curso de Computação Científica, UNITAU. E-mail: luhenri@cptec.inpe.br

² Pesquisadora da Divisão de Modelagem e Desenvolvimento, CPTEC/INPE. E-mail: iracema@cptec.inpe.br

Agradecimentos

Agradeço ao PIBIC/CNPq por me dar a chance de poder estudar e aprofundar melhor os meus conhecimentos, e também a bolsa fornecida. À minha orientadora, Iracema F. A. Cavalcanti, e aos meus amigos pela atenção e paciência dada durante a fase final do projeto. Peço também obrigado a minha família pelo apoio ao trabalho que realizo e principalmente eu agradeço a Deus pela saúde e tranquilidade que ele me passa.

SUMÁRIO

I.	INTRODUÇÃO	1
II.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
	II.I Sistemas frontais	3
	II.II Modelo de Circulação Geral da Atmosfera CPTEC/COLA	5
III.	MATERIAL E MÉTODOS	7
IV.	RESULTADOS	9
	IV.I SUDESTE	10
	IV.I.I Ensemble	10
	IV.I.II Membro 1	16
	IV.II SUL	22
	IV.II.I Ensemble	22
	IV.II.II Membro 1	28
V.	CONCLUSÃO	34
VI.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	35
VII.	ANEXOS	38
	VII.I Cronograma	38

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 – Mapa da América do Sul e destacada as áreas que foram selecionadas para estudo

Fig. 2 – Gráficos representando o número de sistemas frontais ocorridos nos anos de 82 a 91 para o Ensemble (SUDESTE)

Fig. 3 (A, B, C, D, E) – Série temporal de Temperatura em 850 hPa e Pressão para 1990 (Ensemble) (SUDESTE)

Fig. 4 (A, B, C, D) – Compostos das variáveis de Temperatura em 850 hPa e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Ensemble) (SUDESTE)

Fig. 5 (A, B, C, D) – Compostos das variáveis de Precipitação e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Ensemble) (SUDESTE)

Fig. 6 – Gráficos representando o número de sistemas frontais ocorridos nos anos de 82 a 91 para o Membro 1 (SUDESTE)

Fig. 7 (A, B, C, D, E) - Série temporal de Temperatura em 850 hPa e Pressão para 1990 (Membro 1) (SUDESTE)

Fig. 8 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Temperatura em 850 hPa e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Membro 1) (SUDESTE)

Fig. 9 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Precipitação e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Membro 1) (SUDESTE)

Fig. 10 – Gráficos representando o número de sistemas frontais ocorridos nos anos de 82 a 91 para o Ensemble (SUL)

Fig. 11 (A, B, C, D, E) - Série temporal de Temperatura em 850 hPa e Pressão para 1990 (Ensemble) (SUL)

Fig. 12 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Temperatura em 850 hPa e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Ensemble) (SUL)

Fig. 13 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Precipitação e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Ensemble) (SUL)

Fig. 14 – Gráficos representando o número de sistemas frontais ocorridos nos anos de 82 a 91 para o Membro 1 (SUL)

Fig. 15 (A, B, C, D, E) - Série temporal de Temperatura em 850 hPa e Pressão para 1990 (Membro 1) (SUL)

Fig. 16 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Temperatura em 850 hPa e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Membro 1) (SUL)

Fig. 17 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Precipitação e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Membro 1) (SUL)

LISTA DE TABELAS

Tabela I - Médias de queda de temperatura e aumento de pressão encontradas para as estações na região sudeste (a cada três dias seguidos) (SUDESTE)

Tabela II - Total de casos de queda de temperatura, aumento de pressão e ocorrência de vento de sul (SUDESTE)

Tabela III - Médias de queda de temperatura e aumento de pressão encontradas para as estações na região sudeste (a cada três dias seguidos) (SUDESTE)

Tabela IV - Total de casos de queda de temperatura, aumento de pressão e ocorrência do vento de sul (SUDESTE)

Tabela V - Médias de queda de temperatura e aumento de pressão encontradas para as estações na região sudeste (a cada três dias seguidos) (SUL)

Tabela VI - Total de casos de queda de temperatura, aumento de pressão e ocorrência de vento de sul (SUL)

Tabela VII - Médias de queda de temperatura e aumento de pressão encontradas para as estações na região sul (a cada três dias seguidos) (SUL)

Tabela VIII - Total de casos de queda de temperatura, aumento de pressão e ocorrência de vento de sul (SUL)

I. INTRODUÇÃO

Modelos de previsão sazonal climática, como o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera do CPTEC (MCGA CPTEC/COLA), devem simular o estado climatológico da atmosfera e sua variabilidade. Os resultados mensais climatológicos indicam variações nos campos, que representam a média de situações diárias de cada mês. Algumas dessas variações estão associadas a sistemas de escala sinótica, como sistemas frontais. A região sul e sudeste do Brasil é afetada por sistemas frontais que modificam diversas variáveis atmosféricas, como temperatura, pressão, vento e precipitação. Nessas regiões, os campos médios mensais são afetados pelas ocorrências desses sistemas, portanto para que o modelo apresente uma boa simulação mensal e sazonal, é importante que haja uma boa simulação dos sistemas frontais.

O encontro de massas de ar com propriedades distintas formam o sistema frontal. Um sistema frontal é composto classicamente por uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície, denominado ciclone (que gira no sentido horário no HS). Este ciclone desenvolve-se a partir de uma pequena perturbação em uma frente quasi-estacionária que separa o ar frio do ar quente, levantando-o na região de fronteira entre essas duas massas, ocasionando um decréscimo da pressão nesta região. A ascensão do ar quente causa convergência em baixos níveis e formação de circulação ciclônica.

A frente fria avança sobre a frente quente formando a região denominada frente oclusa. Com o aumento da região de oclusão o sistema frontal atinge seu estado terminal, o ciclone aumenta seu tamanho e transforma-se num vórtice frio na baixa troposfera. A fricção e a falta de mecanismos dinâmicos na atmosfera encarregam-se de dissipar o restante do ciclone e, portanto, do sistema frontal.

Um modelo climático procura reproduzir as condições e processos que ocorrem na atmosfera. É constituído de equações que representam os processos dinâmicos e termodinâmicos da atmosfera (ventos, pressão, temperatura) e os processos físicos como: fluxos de calor, radiação, formação de nuvens e precipitação. No caso da reprodução de sistemas frontais, o modelo deve ser capaz de reproduzir variações nos campos de temperatura, pressão, ventos, precipitação e geopotencial, entre as variáveis simuladas.

Utilizando o modelo de circulação geral da atmosfera, do CPTEC, uma simulação de 10 anos (1982 a 1991) foi realizada com condições forçantes mensais da temperatura da superfície do mar, em nove integrações, para gerar um "Ensemble" de resultados. Cada integração partiu de um estado diferente da atmosfera, considerando nove dias consecutivos de novembro de 1981 (Cavalcanti et al, 2001).

O objetivo deste projeto é analisar o comportamento climático do Modelo de Circulação Global da Atmosfera (MCGA) do CPTEC, com relação a passagens de sistemas frontais pela região sul e sudeste do Brasil, nas quatro estações do ano, e as contribuições dos mesmos para ocorrência de precipitação.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

II.1 Sistemas frontais

Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre o Brasil com frequências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas, como pode-se notar no estudo de Oliveira (1986), e são um dos maiores causadores de distúrbios meteorológicos sobre o país. A interação entre a convecção tropical e sistemas frontais, ocorre mais frequentemente quando os sistemas frontais se encontram na banda entre 20^oS e 35^oS (Lemos e Calbete, 1996).

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada às características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, tais como as Regiões Sul e Sudeste são regiões frontogenéticas, ou seja, as frentes podem se intensificar ou podem se formar (Satyamurty e Mattos, 1989).

Durante o regime de verão, as frentes frias ao ingressarem no sul do país, associam-se a um sistema de baixa pressão em superfície sobre o Paraguai conhecida como Baixa do Chaco, e intensificam-se. Estes sistemas neste período, frequentemente ficam semi-estacionados no litoral da Região Sudeste, devido à presença de vórtices ciclônicos em altos níveis na Região Nordeste. A permanência dos sistemas frontais sobre esta região organiza a convecção tropical nas Regiões Central e Norte do Brasil e caracteriza a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Lemos e Calbete, 1996).

Durante o período do inverno pode-se notar o contraste térmico entre as duas massas separadas pela zona frontal no interior do continente. Este contraste em alguns casos afeta a Região Central, estendendo-se até o sul da Região Norte. Este fenômeno ao atingir o sul da Região Norte é chamado de "Friagem" (Marengo et al 1997). A passagem das zonas frontais no inverno pelo sul e sudeste do Brasil pode causar geadas nestas regiões.

Vários estudos têm mostrado a importância dos sistemas frontais associados com precipitação ou com ocorrências de frentes sobre a América do Sul. Kousky (1979,1980) relacionou precipitação em vários lugares da costa brasileira a passagens de sistemas frontais nessas regiões. Características de pressão associadas a esses sistemas foram analisadas por Kousky e Ferreira (1981). Configurações típicas da atmosfera, em casos de frentes frias atuando sobre a América do Sul, são as ondas longas, com cristas e cavados que se intensificam sobre o Pacífico Sul e América do Sul causando eventos extremos de frentes sobre o continente (Fortune e Kousky, 1983; Algarve e Cavalcanti, 1994). Em um estudo realizado por Fortune e Kousky (1983) sobre a ação de um sistema frontal em 1979 observou-se que 3 ou 4 dias antes do evento houve uma amplificação do padrão de onda longa sobre o Oceano Pacífico que forneceu um sinal precursor para a ocorrência.

Análises climatológicas para o período de 1980 - 1989, realizadas por Algarve e Cavalcanti (1994) indicaram que as características dominantes da circulação atmosférica em casos de fortes frentes sobre o sul do Brasil foram um dipolo zonal, crista/cavado, a qual desloca-se da região do Pacífico para o sul da América do Sul, fornecendo condições favoráveis para a entrada de ar frio sobre o continente. Outras observações características foram a bifurcação do escoamento em altos níveis sobre o sudeste do Pacífico Sul, a qual permitiu o aumento do contraste meridional da massa de ar. As duas correntes reunidas sobre o continente, aumentam a velocidade do fluxo da corrente, durante a passagem do sistema. Estudos de teleconexões tem mostrado trens de onda de alta frequência sobre o Oceano Pacífico até a América do Sul, relacionados ao deslocamento de sistemas frontais no continente (Cavalcanti e Kayano, 1999). A evolução dos padrões sobre a América do Sul associada aos sistemas frontais foi relatada em Kousky e Cavalcanti (1997). Análises de dados resultantes de simulações climáticas com o modelo de circulação geral da atmosfera CPTEC/COLA, mostraram configurações de trens de onda de alta frequência semelhantes aos observados (Cavalcanti e Kayano, 2000).

II.II Modelo de Circulação Geral da Atmosfera CPTEC/COLA

O MCGA em uso no CPTEC tem sua origem naquele usado para previsão de tempo de médio prazo pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP). O modelo do NCEP chamado MRF (Medium Range Forecasting Model), era uma combinação do código espectral global desenvolvido pelo NCEP e as parametrizações físicas de escala de subgrade desenvolvidas no Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) do NOAA na Universidade de Princeton, EUA. Esse modelo foi transferido ao Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies (COLA), onde foram adicionados a princípio, cálculos diagnósticos para um melhor entendimento dos processos físicos simulados e de sua importância relativa, além da adição de um módulo de vegetação, SSIB (Bonatti et al., 1996).

Desde a implantação do MRF do NCEP no COLA, o modelo tem sofrido mudanças significantes por ambos os grupos. A medida que ambas versões evoluíram, as principais mudanças efetuadas pelo NCEP para melhorar a previsão de médio prazo, foram introduzidas pelo grupo de simulação do COLA para manter o avanço em conjunto. O CPTEC adotou a versão 1.7 do COLA, que tem truncamento romboidal. Essa versão foi generalizada para truncamento triangular, foram introduzidas resoluções horizontal e vertical versáteis, adaptações na geração de arquivos de entrada e saída para as necessidades operacionais do CPTEC. Essa versão é chamada de versão 1.0 CPTEC/COLA. O MCGA é usado tanto para previsão de tempo operacional, quanto para previsão de clima experimental. A resolução em uso é T62L28, ou seja, truncamento triangular com 62 ondas na horizontal e 28 camadas na vertical (Bonatti, 1996).

Para que um modelo atmosférico possa ser usado em previsão climática ele deve ser capaz de reproduzir as principais características climatológicas da precipitação. Alguns estudos realizados com resultados do MCGA CPTEC/COLA, mostraram comparações das simulações/previsões de precipitação com as observações, e as principais características climatológicas foram bem reproduzidas (Cavalcanti et al., 1996, Cavalcanti, 1998). Outros resultados climatológicos foram apresentados em Cavalcanti et al. (2000, 2001a), com análise de outras variáveis atmosféricas. A variação sazonal foi bem reproduzida pelo modelo, e as principais características atmosféricas foram bem representadas, globalmente. Notou-se, entretanto, que há superestimativa de

precipitação em algumas áreas e subestimativa em outras áreas da região tropical. Anomalias de precipitação mensal foram bem reproduzidas sobre a América do Sul em episódios ENSO, dentro do período 1982-1991 (Cavalcanti et al. 2001b).

III. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram obtidos de um conjunto (Ensemble) de nove (9) integrações realizadas com o modelo MCGA CPTEC/COLA e também da integração de uma das condições iniciais. As nove condições iniciais foram obtidas das condições atmosféricas dos dias 11 a 18 de novembro de 1981. O modelo foi integrado de 1982 a 1991, tendo como condição de contorno forçante, a temperatura da superfície do mar observada mensalmente. Os resultados do modelo utilizados foram dados diários de precipitação, pressão, componente meridional e zonal do vento, temperatura e altura geopotencial.

Foram estudadas as áreas localizadas em duas regiões (**Fig. 1**): SUL (31°S - 28°S / 53°W - 49°W) e SUDESTE (24°S - 20°S / 47°W - 43°W), áreas nas quais encontram-se cinco (5) pontos de grade, onde cada grade tem 1.875° . Foi considerada a média de cinco (5) pontos de grade para cada área.



Fig. 1 – Mapa da América do Sul e destacada as áreas que foram selecionadas para estudo.

Vários testes foram realizados para encontrar as melhores condições de variação de temperatura, pressão e vento para identificação dos sistemas frontais que passam por essas áreas nos dados resultantes do modelo. Após estes testes, foi gerado um programa para analisar, de janeiro de 82 a dezembro de 91, o

comportamento das variáveis de temperatura, pressão e vento, em cinco (5) pontos de grade, a cada três (3) dias, nas áreas sul e sudeste. O programa consiste em verificar a média de queda de temperatura e aumento de pressão nesses pontos de grade durante o mesmo período de dias (três dias seguidos) e por estação do ano, nas áreas sul e sudeste, condição que é característica da passagem de um sistema frontal.

Primeiramente foi calculada nos cinco (5) pontos de grade e para cada três (3) dias seguidos a média de queda de temperatura e aumento de pressão em cada estação (primavera, verão, outono e inverno) para cada ano, e a seguir, calculada uma média de cada estação para os 10 anos.

Essas médias foram utilizadas como valores limites, e foi gerado um outro programa para analisar na média os cinco (5) pontos de grade, a queda de temperatura e aumento de pressão durante o mesmo período de dias, três (3) dias seguidos. A condição para identificar os casos de passagem de sistemas frontais foi: **aumento de pressão \geq valor limite e redução de temperatura \geq valor limite** para cada estação do ano, e que também no terceiro dia a componente meridional do vento tivesse valor positivo, ou seja, vento de sul. O programa retornava como resultado o primeiro dia em que ocorreu a condição imposta.

Todos os programas foram usados para analisar os dados do Ensemble (médias dos resultados das nove integrações) e também os resultados de uma única integração.

IV. RESULTADOS

Inicialmente trabalhou-se com a média dos resultados das nove integrações do modelo. Porém, após análise dos resultados, verificou-se que havia uma grande discrepância entre o comportamento dos sistemas em cada integração. A configuração média dos membros, nem sempre representava a ação de um sistema. Por esse motivo, foi escolhido também para análise, o primeiro membro da rodada do modelo.

Foram realizadas as análises para as áreas sul e sudeste considerando o Ensemble e o Membro 1.

Como exemplo foram confeccionadas séries temporais e as configurações dos compostos dos casos selecionados, para o ano de 1990.

IV.1 SUDESTE

IV.1.1 Ensemble

Seguindo a metodologia descrita, contou-se os casos de sistemas frontais, quando na média de cinco (5) pontos de grade houvesse a queda de temperatura e aumento de pressão durante o mesmo período de três (3) dias seguidos e o vento meridional fosse de sul no terceiro dia. Essas quedas de temperatura e aumento de pressão foram baseadas nos valores limites gerados para cada estação do ano.

Na Tabela I encontram-se as médias calculadas, valores limites, para o Ensemble na área sudeste e que foram usadas para cada estação do ano na identificação dos casos. Nota-se que os valores são bem baixos, e diferem bastante de valores observados. Quando considerou-se um valor de queda de temperatura de 2° a 5° aumento de pressão de 2 hPa, não foi obtido nenhum caso.

	Temperatura (°C)	Pressão (hPa)
VERÃO	(D) 0,86 (J/F) 0,64	(D) 1,99 (J/F) 1,14
OUTONO	0,61	1,14
INVERNO	0,85	1,16
PRIMAVERA	1,27	1,66

Tabela I - Médias de queda de temperatura e aumento de pressão encontradas para as estações na região sudeste (a cada três dias seguidos)

Considerando esses limites inferiores, foram encontrados os casos associado a passagens de sistemas frontais, para todos os anos. Na Tabela II e Figura 2 estão representados os números de casos ocorridos por estação e por ano.

ANOS	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA	VERÃO	TOTAL
82	4	2	5	0	11
83	3	3	4	0	10
84	2	2	3	4	11
85	4	4	5	2	15
86	4	1	1	0	6
87	4	4	7	1	16
88	5	1	5	1	12
89	5	2	2	0	9
90	4	6	3	2	15
91	6	2	2	3	13
TOTAL	41	27	37	13	118

Tabela II - Total de casos de queda de temperatura, aumento de pressão e ocorrência de vento de sul

Gráfico representando o número de casos de Sistemas Frontais separados por estação no ano

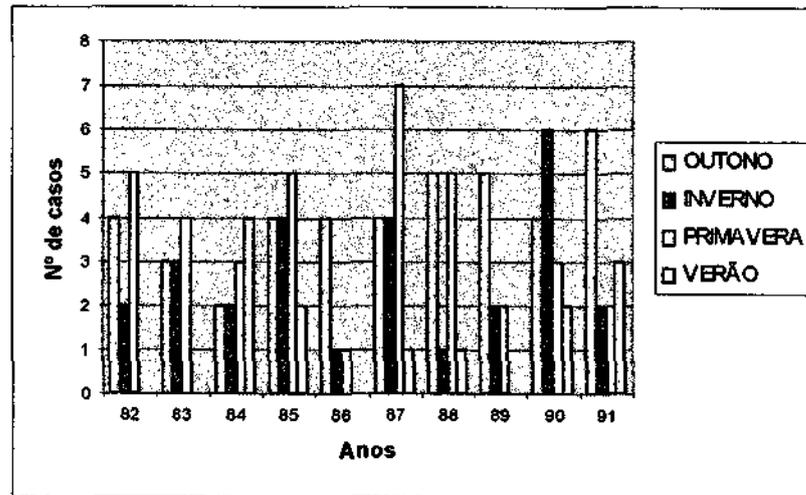


Gráfico representando o número de casos de Sistemas Frontais por ano

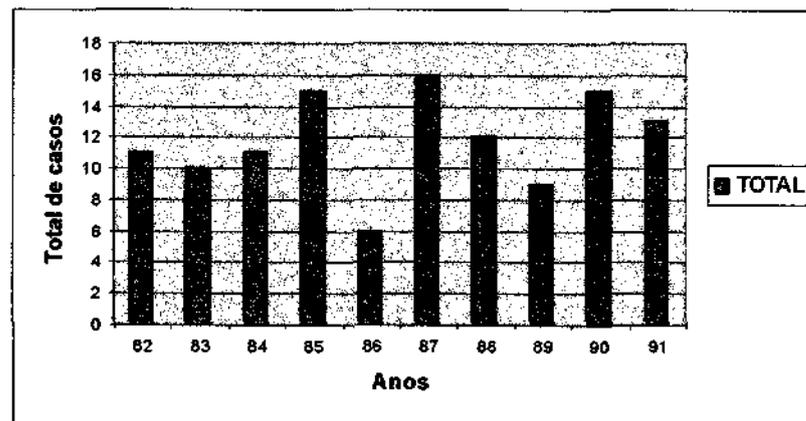


Gráfico representando o número de casos de Sistemas Frontais por estação

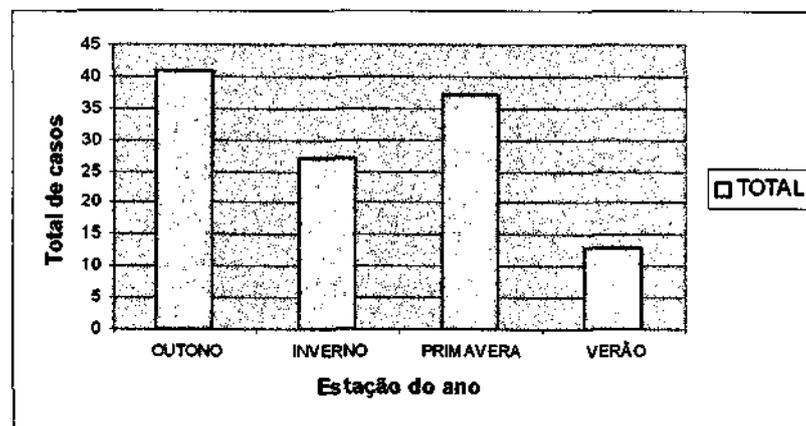
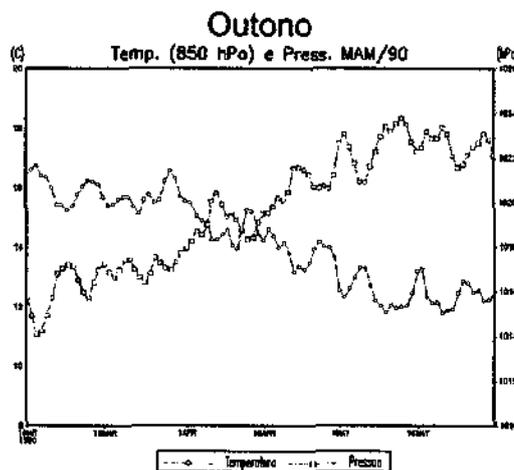
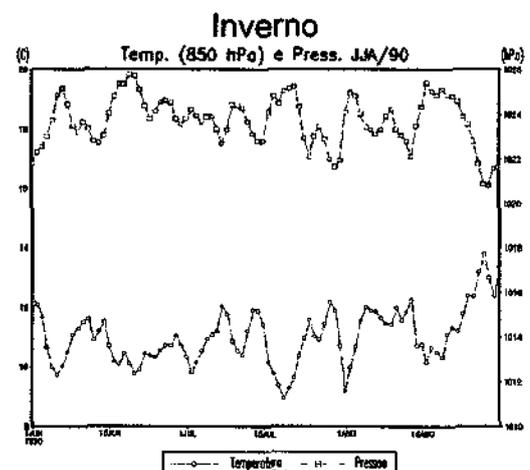


Fig. 2 – Gráficos representando o número de sistemas frontais ocorridos nos anos de 82 a 91 para o Ensemble

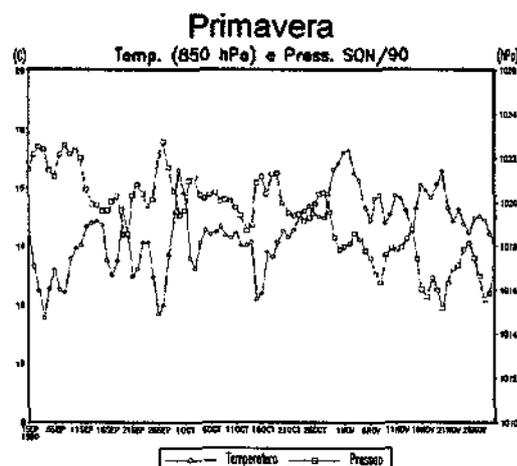
Na Figura 3 (A, B, C, D, E), é apresentada a série temporal de temperatura em 850hPa (baixos níveis) e pressão para o ano de 1990, separados em estações para os dados do Ensemble. Observa-se bem a configuração sazonal das variáveis, com tendências nas estações de transição quando a temperatura no outono começa a cair e na primavera começa a aumentar. A pressão atua de maneira contrária à temperatura. Observa-se que no outono a pressão começa a aumentar e na primavera começa a cair. Alguns casos de queda de temperatura e aumento na pressão, nos valores diários, estão marcados nas figuras. Considerando também as séries temporais do vento meridional (não mostrado) essas variações representam a passagem dos casos de sistemas frontais.



(A)



(B)



(C)

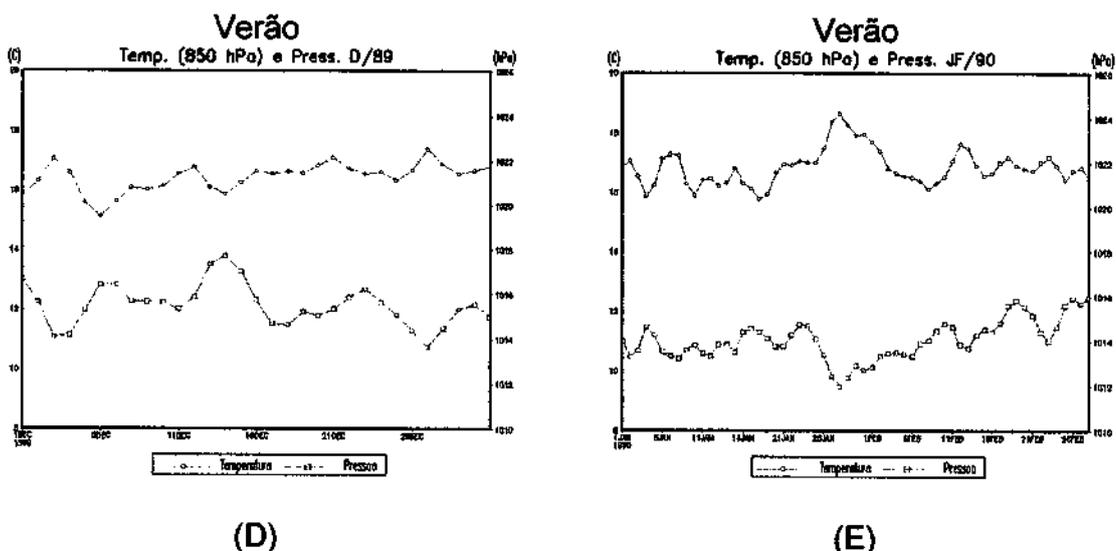
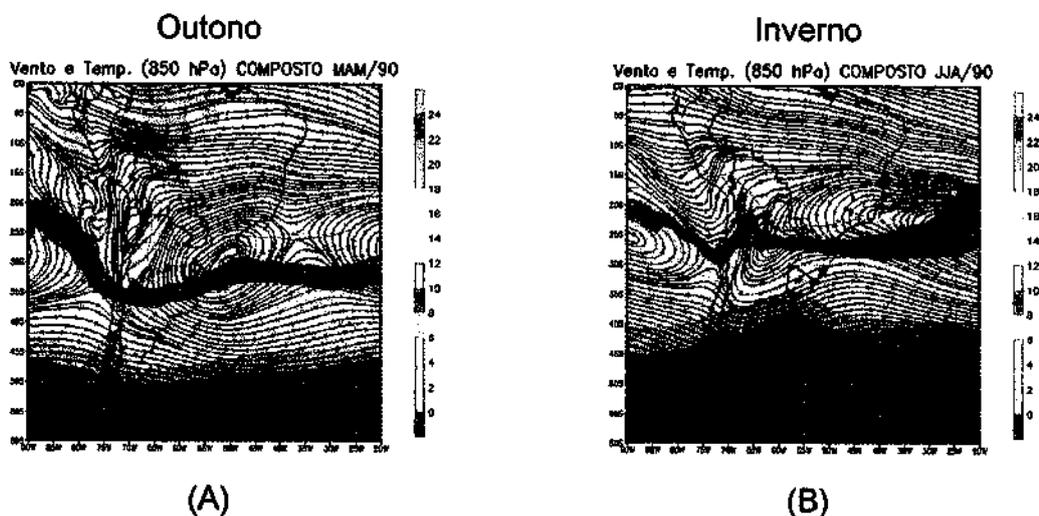


Fig. 3 (A, B, C, D, E) – Série temporal de Temperatura em 850 hPa e Pressão para 1990 (Ensemble)

O programa elaborado detecta automaticamente essas variações visualizadas nas séries temporais.

Na Figura 4 (A, B, C, D), são apresentados os compostos dos casos encontrados para o ano de 1990 na área sudeste, que são as médias dos casos encontrados por estação do ano de 1990.

Analisando os campos de Temperatura e Vento (Linhas de Corrente), em 850hPa, podemos observar que na estação de outono a confluência dos ventos encontra-se mais a leste do sudeste, sobre o Oceano Atlântico. Nota-se uma circulação anticiclônica ao sul do sudeste, representando a massa de ar frio. Nas estações de inverno e primavera, a região de confluência encontra-se ao sul do sudeste. A configuração do verão não mostra um padrão típico de sistema frontal.



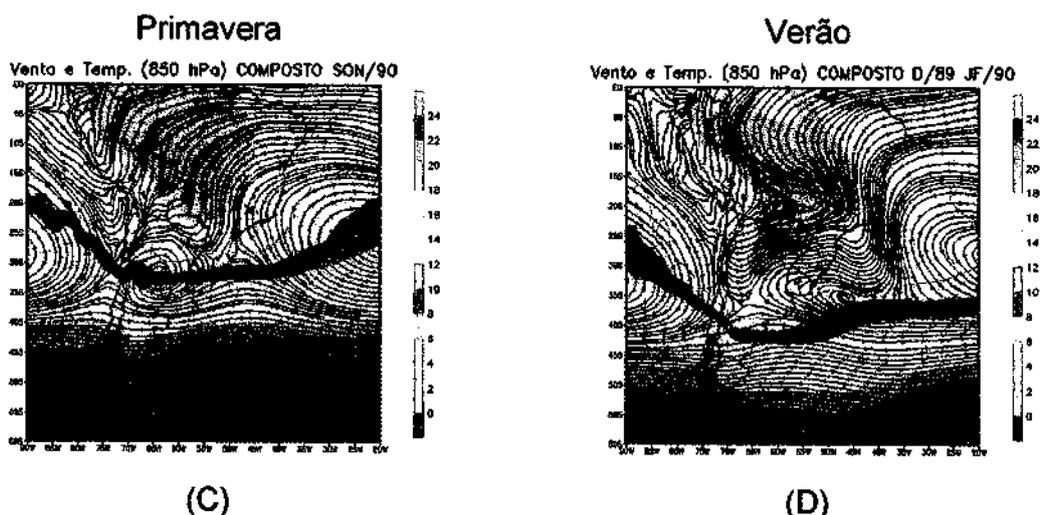
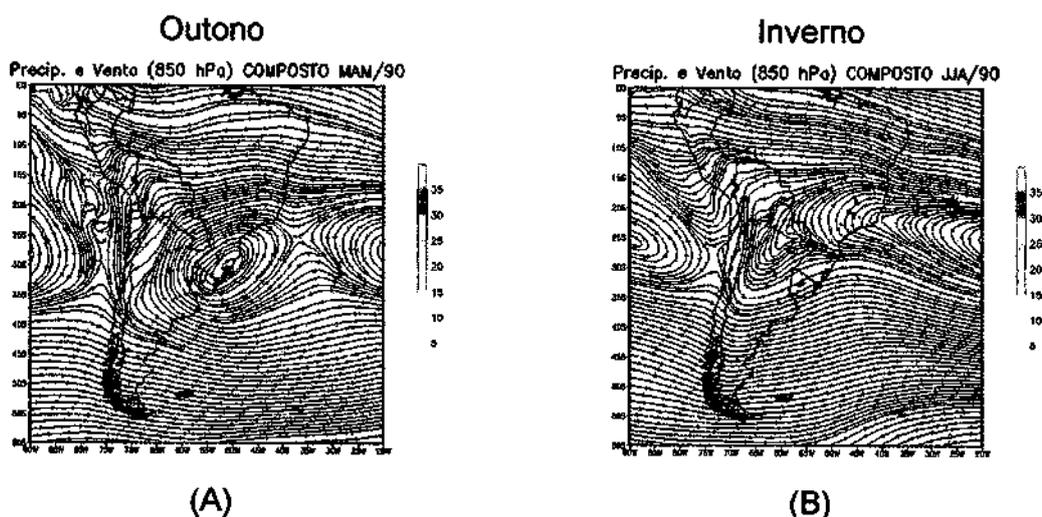


Fig. 4 (A, B, C, D) – Compostos das variáveis de Temperatura em 850 hPa e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Ensemble)

Analisando os campos de Precipitação e Vento (Linhas de Corrente) (Fig. 5 (A, B, C, D)), podemos observar que no caso do outono, inverno e primavera, a precipitação está localizada na região de confluência dos ventos, e apenas na primavera ela se estende para o continente. Na estação do verão, nota-se um alto índice de precipitação desde o Oceano Atlântico até o Amazonas, representando bem a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul). Entretanto não há confluência dos ventos sobre o sudeste.



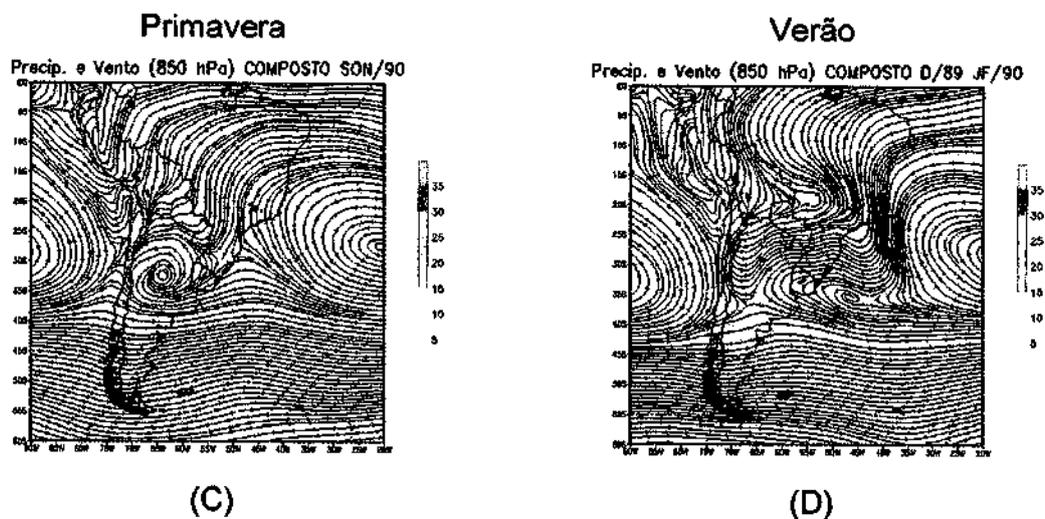


Fig. 5 (A, B, C, D) – Compostos das variáveis de Precipitação e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Ensemble)

IV.I.II Membro 1

Na Tabela III encontram-se as médias calculadas para o Membro 1 na área sudeste e que foram usadas para identificação dos casos.

	Temperatura (°C)	Pressão (hPa)
	VERÃO	(D) 3,17 (J/F) 1,87
OUTONO	1.89	3.03
INVERNO	2.72	3.91
PRIMAVERA	4.05	5.01

Tabela III - Médias de queda de temperatura e aumento de pressão encontradas para as estações na região sudeste (a cada três dias seguidos)

Baseados nesses valores limites, foram encontrados os casos de sistemas frontais para todos os anos. Na Tabela IV e Figura 6 estão representados os números de casos ocorridos por estação e por ano.

ANOS	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA	VERÃO	TOTAL
82	4	2	5	2	13
83	4	5	6	1	16
84	2	1	3	7	13
85	0	2	5	2	9
86	3	4	3	3	13
87	5	4	5	1	15
88	4	2	3	0	9
89	3	3	4	2	12
90	4	3	5	3	15
91	2	5	5	3	15
TOTAL	31	31	44	24	130

Tabela IV - Total de casos de queda de temperatura, aumento de pressão e ocorrência do vento de sul

Gráfico representando o número de casos de Sistemas Frontais separados por estação no ano

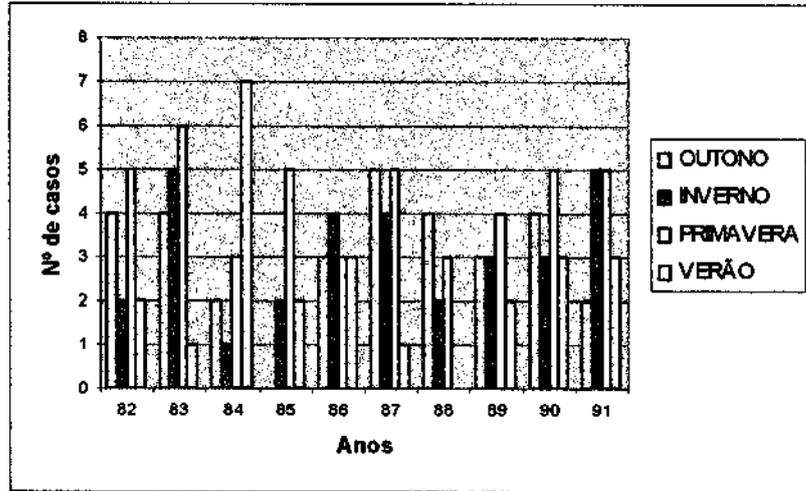


Gráfico representando o número de Sistemas Frontais por ano

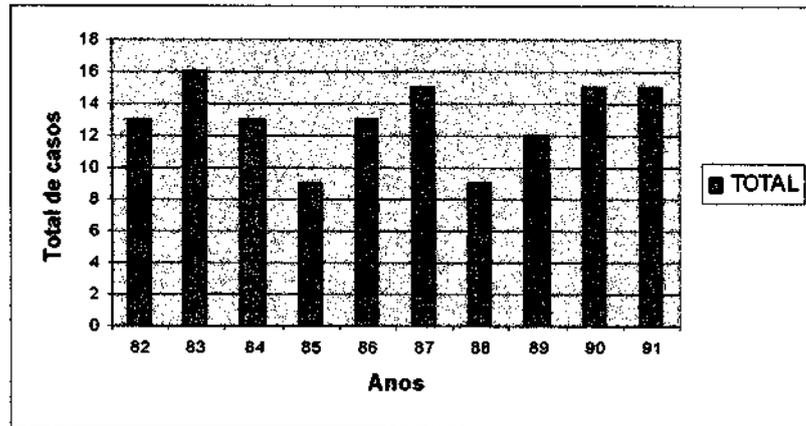


Gráfico representando o número de Sistemas Frontais por estação

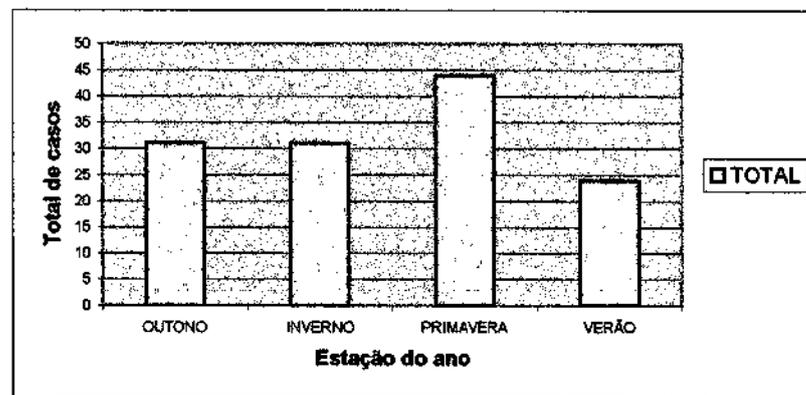
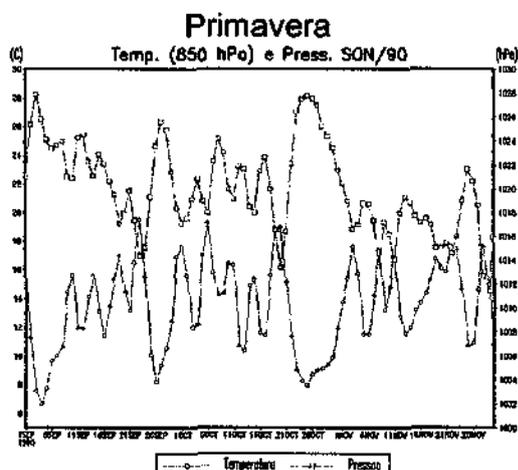
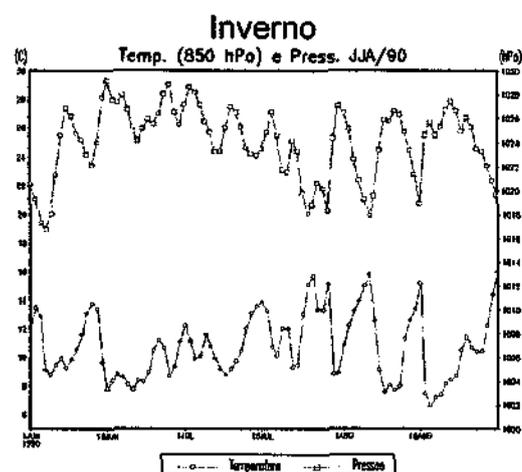
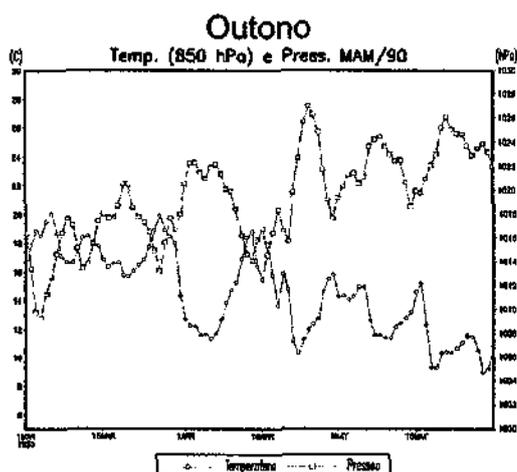


Fig. 6 – Gráficos representando o número de sistemas frontais ocorridos nos anos de 82 a 91 para o Membro 1

Na Figura 7 (A, B, C, D, E), encontra-se a série temporal de temperatura e pressão para o ano de 1990, separados por estações para o Membro 1 na área sudeste. A mesma tendência encontrada nas estações de transição para o Ensemble, é também observada com um único membro.



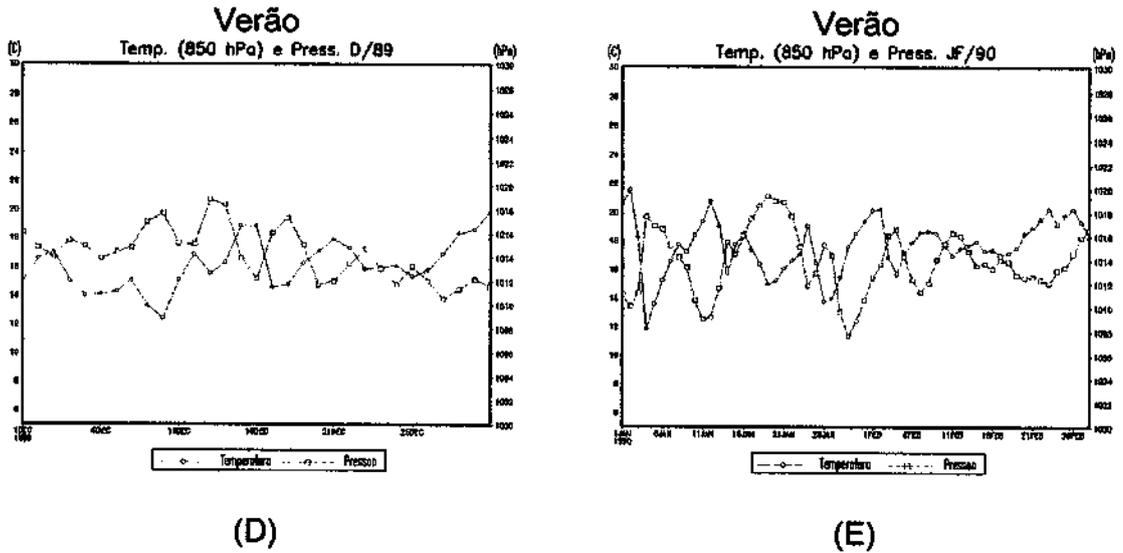
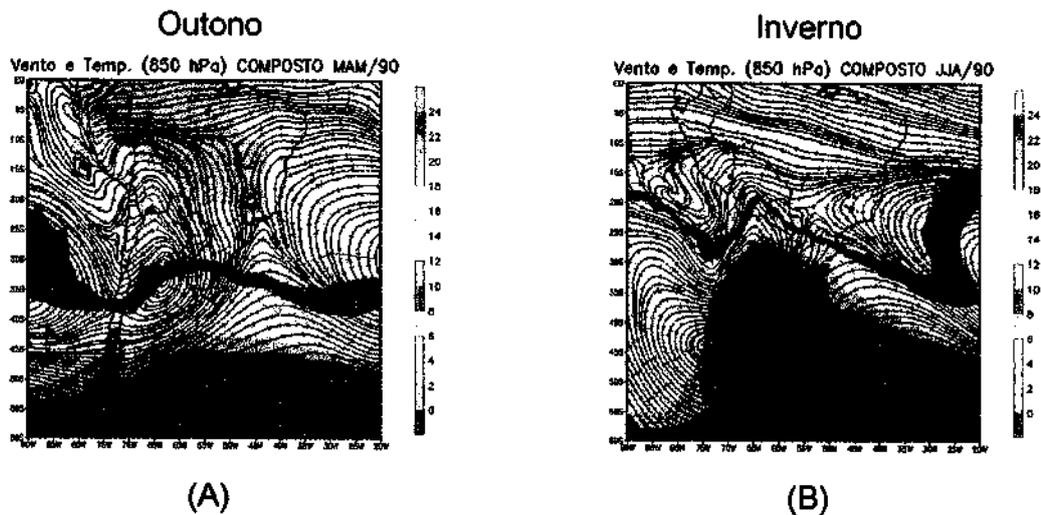


Fig. 7 (A, B, C, D, E) - Série temporal de Temperatura em 850 hPa e Pressão para 1990 (Membro 1)

Foram gerados compostos para análise do Membro 1 (Fig. 8 (A, B, C, D)), que são as médias dos casos encontrados por estação no ano de 1990.

Analisando os campos de Temperatura e Vento (Linhas de Corrente), podemos observar que há confluência dos ventos sobre a região sudeste nas 4 estações do ano, e um gradiente de temperatura com o ar frio ao sul e ar quente ao norte, e que as configurações são mais representativas da ação de sistemas frontais, do que aquelas apresentadas para o Ensemble.



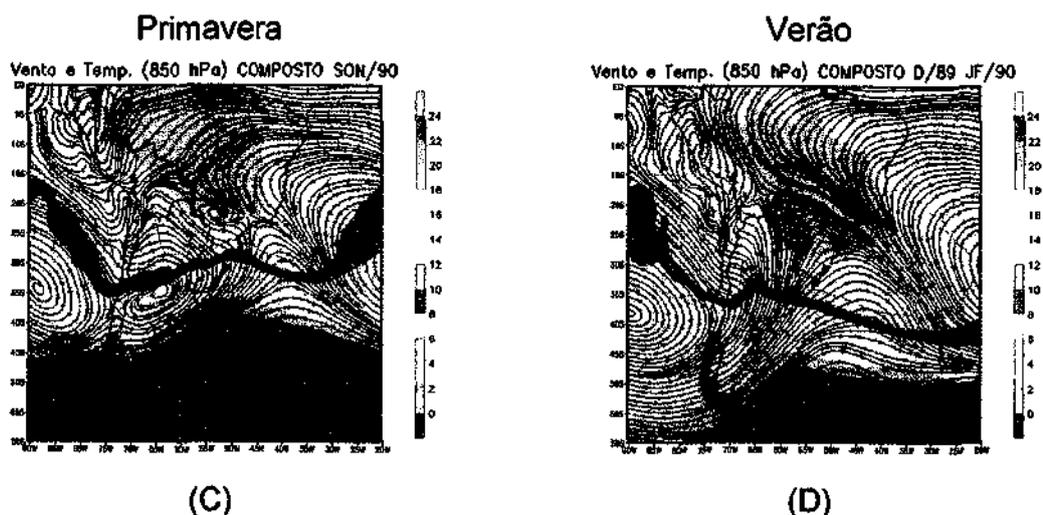


Fig. 8 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Temperatura em 850 hPa e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Membro 1)

Observando os campos de Precipitação e Vento (Linhas de Corrente) (Fig. 9 (A, B, C, D)), podemos observar altos níveis de precipitação na estação de outono junto à confluência dos ventos, o que é típico da ação de sistemas frontais. Na estação de inverno, nota-se que a precipitação encontra-se mais no Oceano Atlântico, acompanhando a confluência dos ventos. Para a estação da primavera, observamos que a precipitação localiza-se também na região de confluência, estendendo-se ao extremo sul da América do Sul. Na estação do verão, nota-se um alto índice de precipitação desde o Oceano Atlântico até o Amazonas e sul do Amazonas, também na região de confluência. Nas quatro estações, nota-se um cavado sobre o Oceano Atlântico junto à costa sul/sudeste do Brasil. No outono e primavera, nota-se uma circulação anticiclônica sobre a Argentina. No inverno há circulação anticiclônica sobre o extremo sul da América do Sul.

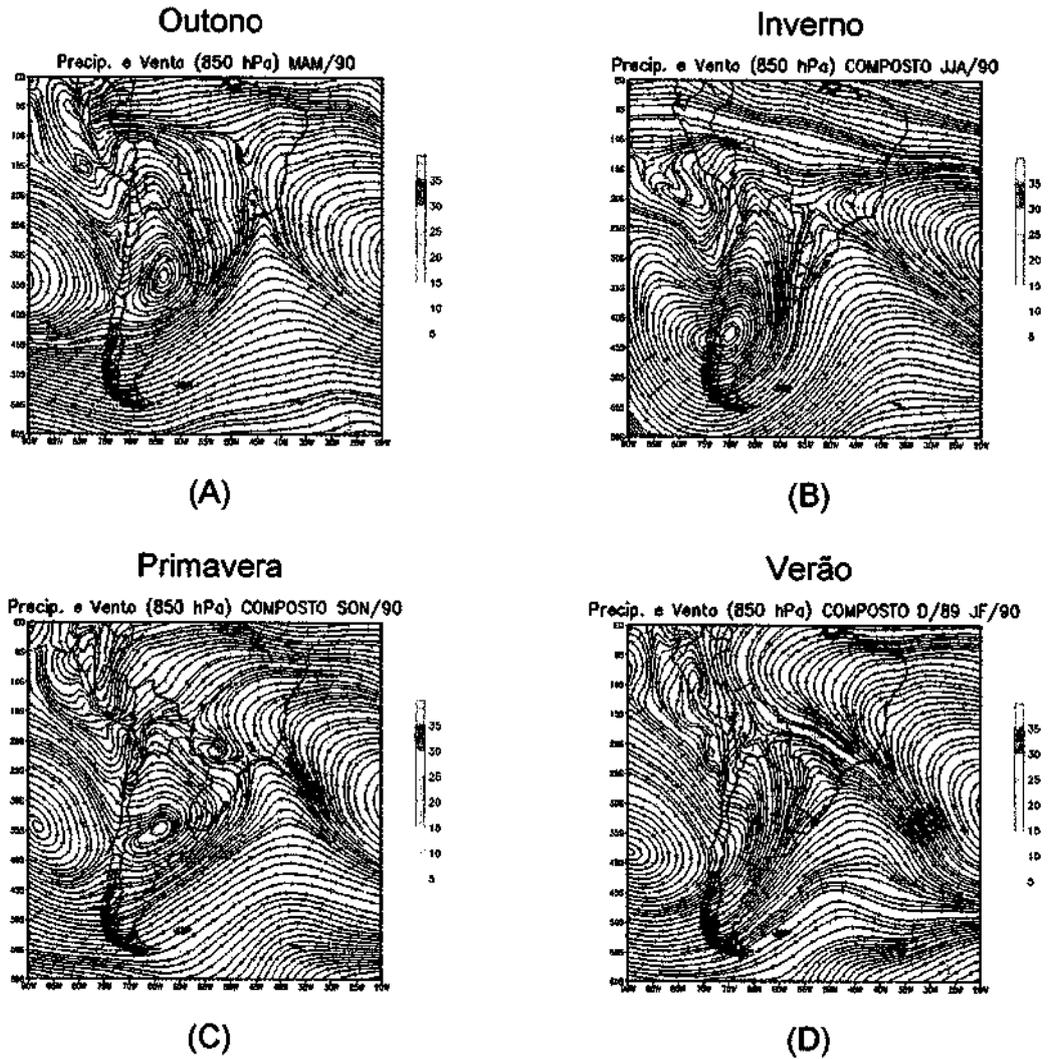


Fig. 9 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Precipitação e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Membro 1)

IV.II SUL

IV.II.I Ensemble

Na **Tabela V** encontram-se as médias calculadas para o Ensemble na área sul, e que foram usadas nas estações para identificação dos casos.

	Temperatura (°C)	Pressão (hPa)
VERÃO	(D) 1,30 (J/F) 1,02	(D) 2,40 (J/F) 2,02
OUTONO	1.02	1.88
INVERNO	1.72	2.35
PRIMAVERA	1.69	2.65

Tabela V - Médias de queda de temperatura e aumento de pressão encontradas para as estações na região sudeste (a cada três dias seguidos)

Baseados nesses limites inferiores, foram encontrados os casos de sistemas frontais para todos os anos. Na **Tabela VI** e **Figura 10** estão representados os números de casos ocorridos por estação e por ano.

ANOS	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA	VERÃO	TOTAL
82	2	2	6	1	11
83	5	3	2	5	15
84	2	2	1	2	7
85	7	3	4	5	19
86	2	3	6	2	13
87	6	3	7	5	21
88	2	4	4	3	13
89	7	2	2	5	16
90	4	2	4	2	12
91	4	3	0	5	12
TOTAL	41	27	36	35	139

Tabela VI - Total de casos de queda de temperatura, aumento de pressão e ocorrência de vento de sul

Gráfico representando o número de casos de Sistemas Frontais separados por estação no ano

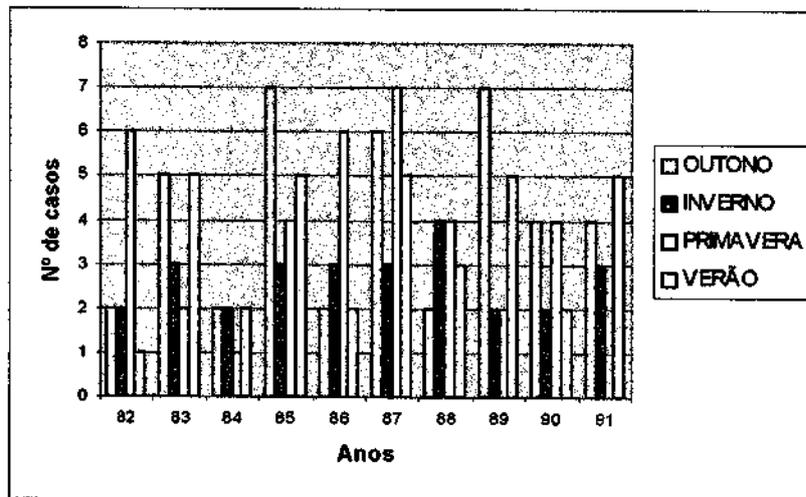


Gráfico representando o número de casos de Sistemas Frontais por ano

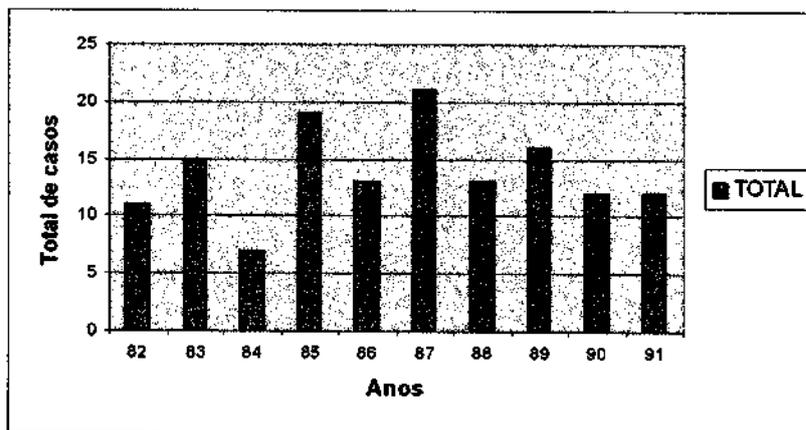


Gráfico representando o número de casos de Sistemas Frontais por estação

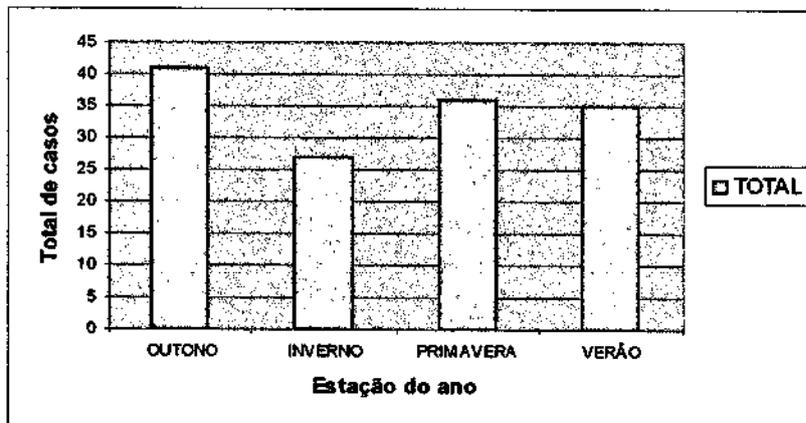
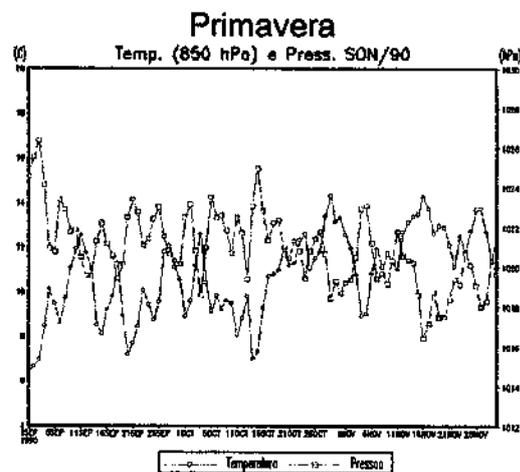
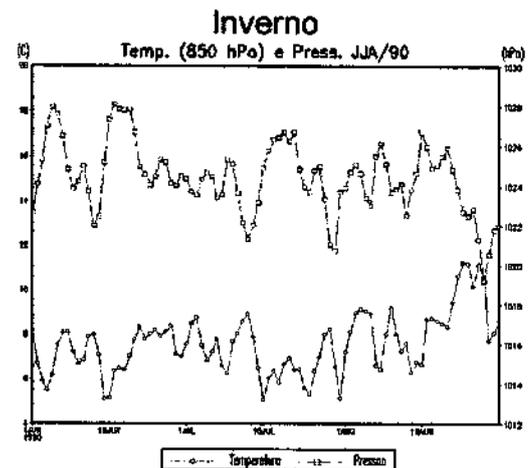
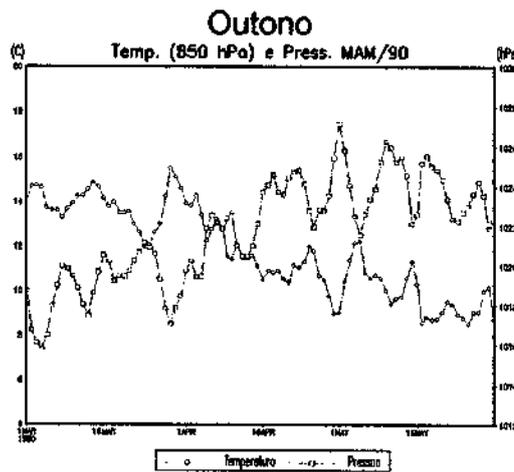
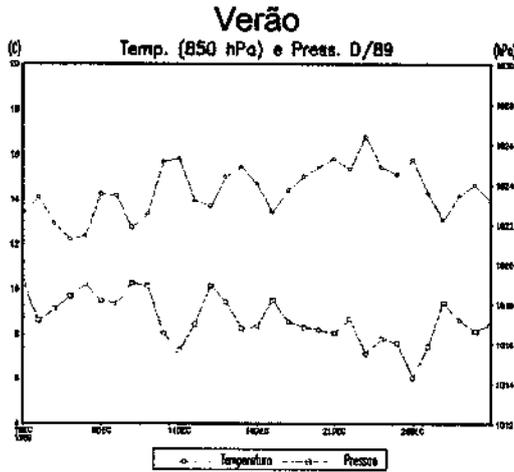


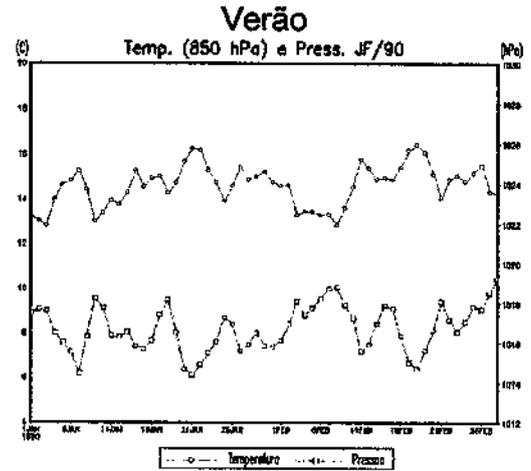
Fig. 10 – Gráficos representando o número de sistemas frontais ocorridos nos anos de 82 a 91 para o Ensemble

Na Figura 11 (A, B, C, D, E), encontra-se a série temporal de temperatura e pressão para o ano de 1990, separados por estações, para o Ensemble, na área sul. Nessa representação também nota-se a tendência de temperatura e pressão nas estações de transição.





(D)

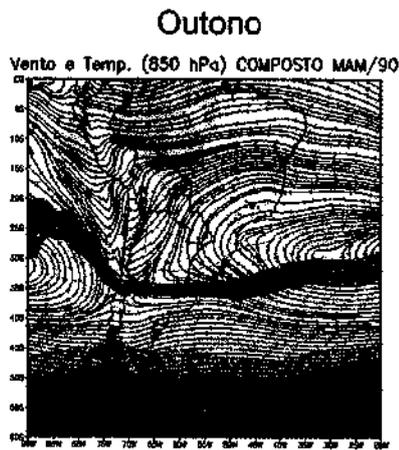


(E)

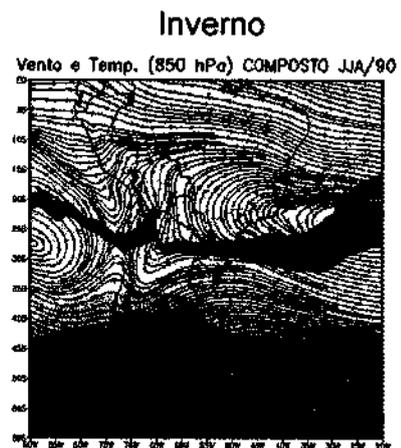
Fig. 11 (A, B, C, D, E) - Série temporal de Temperatura em 850 hPa e Pressão para 1990 (Ensemble)

Os compostos para análise do Ensemble na região sul (Fig. 12 (A, B, C, D)), são as médias dos casos encontrados por estação no ano de 1990.

Analisando os campos de Temperatura e Vento (Linhas de Corrente), podemos observar que há confluência de vento sobre a região sul e o gradiente de temperatura norte-sul.



(A)



(B)

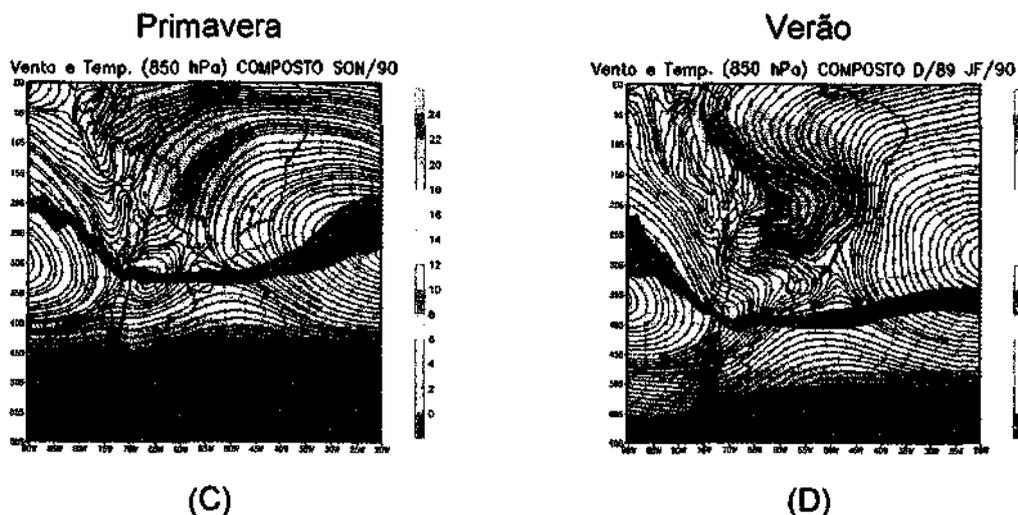
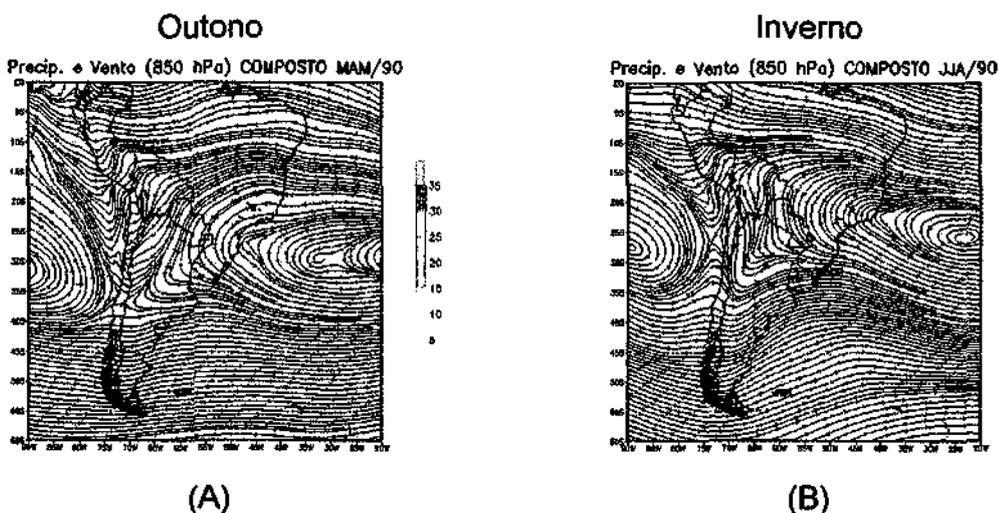


Fig. 12 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Temperatura em 850 hPa e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Ensemble)

Analisando os campos de Precipitação e Vento (Linhas de Corrente) (Fig. 13 (A, B, C, D)), podemos observar que na estação de outono há pouca precipitação na região de confluência dos ventos. Nota-se porém que a precipitação encontra-se no Oceano Atlântico. Na estação de Inverno, a precipitação associada também está sobre o Oceano. Para a estação da Primavera, observamos a precipitação se estendendo do continente ao oceano, na região de confluência. Na estação do verão, nota-se um alto índice de precipitação desde o Oceano Atlântico até o Amazonas, representando bem a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), porém a representação de confluência ocorre sobre o sul do Brasil.



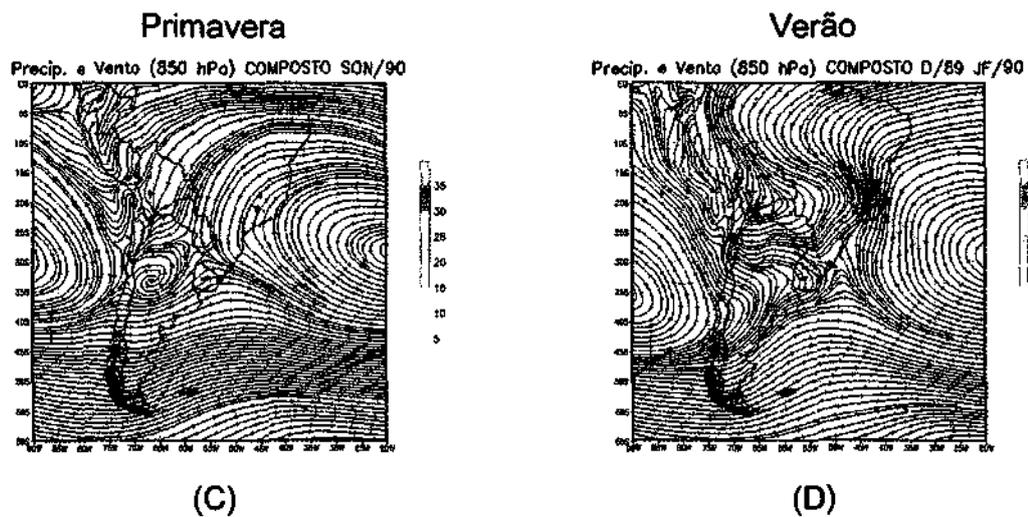


Fig. 13 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Precipitação e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Ensemble)

IV.II.II Membro 1

Na Tabela VII encontram-se as médias calculadas para o Membro 1, considerando a área sul, e que foram usadas nas estações para identificação dos casos.

	Temperatura (°C)	Pressão (hPa)
	VERÃO	(D) 3,88 (J/F) 3,75
OUTONO	3,09	5,49
INVERNO	5,16	7,58
PRIMAVERA	5,35	8,79

Tabela VII - Médias de queda de temperatura e aumento de pressão encontradas para as estações na região sul (a cada três dias seguidos)

Considerando esses limites inferiores, foram encontrados os casos de sistemas frontais para todos os anos. Na Tabela VIII e Figura 14 estão representados os números de casos ocorridos por estação e por ano.

ANOS	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA	VERÃO	TOTAL
82	4	1	6	1	12
83	5	5	5	2	17
84	2	4	4	4	14
85	3	3	5	5	16
86	3	4	4	2	13
87	3	4	6	2	15
88	5	3	3	7	18
89	3	4	4	2	13
90	4	3	2	6	15
91	3	6	4	2	15
TOTAL	35	37	43	33	148

Tabela VIII - Total de casos de queda de temperatura, aumento de pressão e ocorrência de vento de sul

Gráfico representando o número de casos de Sistemas Frontais separados por estação no ano

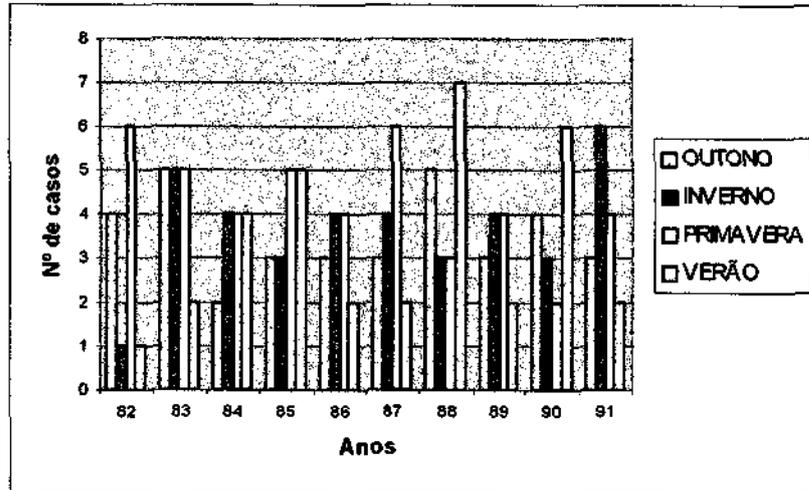


Gráfico representando o número de casos de Sistemas Frontais por ano

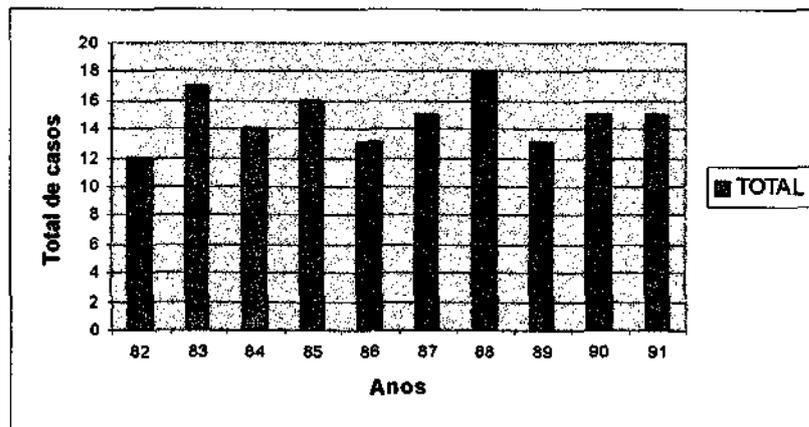


Gráfico representando o número de casos de Sistemas Frontais por estação

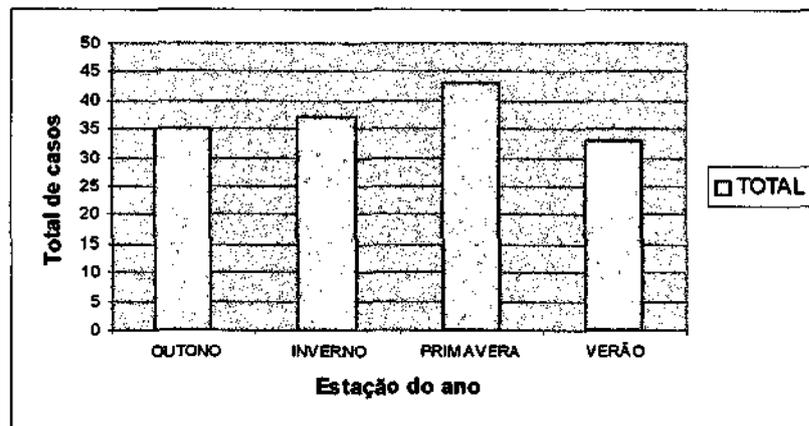
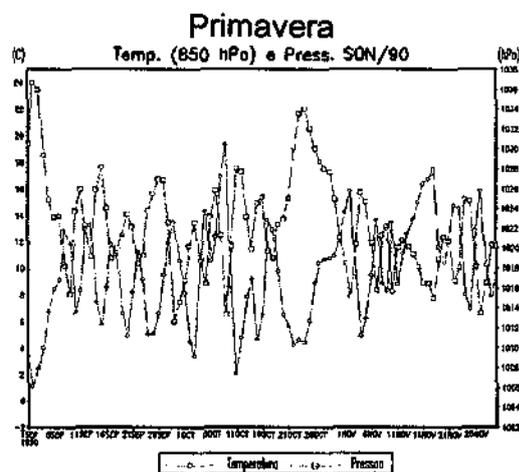
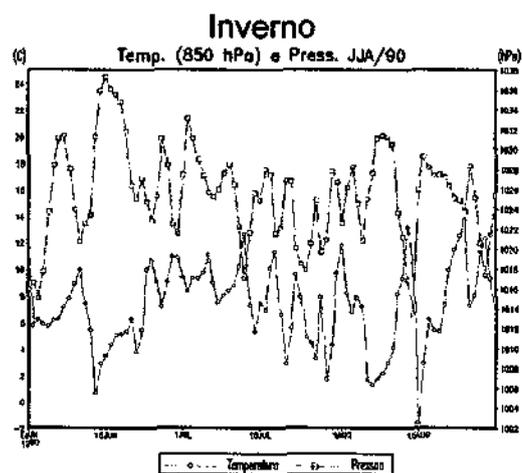
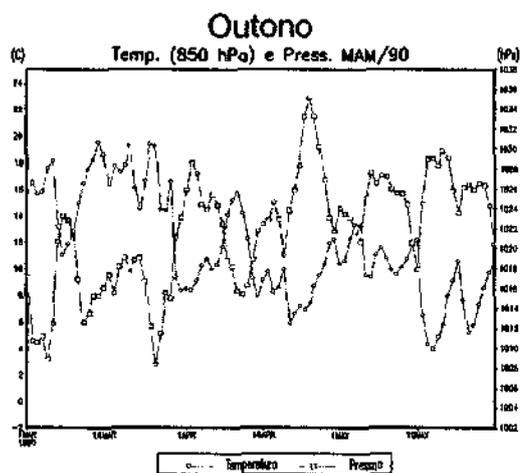


Fig. 14 – Gráficos representando o número de sistemas frontais ocorridos nos anos de 82 a 91 para o Membro 1

Na Figura 15 (A, B, C, D, E), encontra-se a série temporal de temperatura e pressão para o ano de 1990, separados por estações para o Membro 1 na área sul.



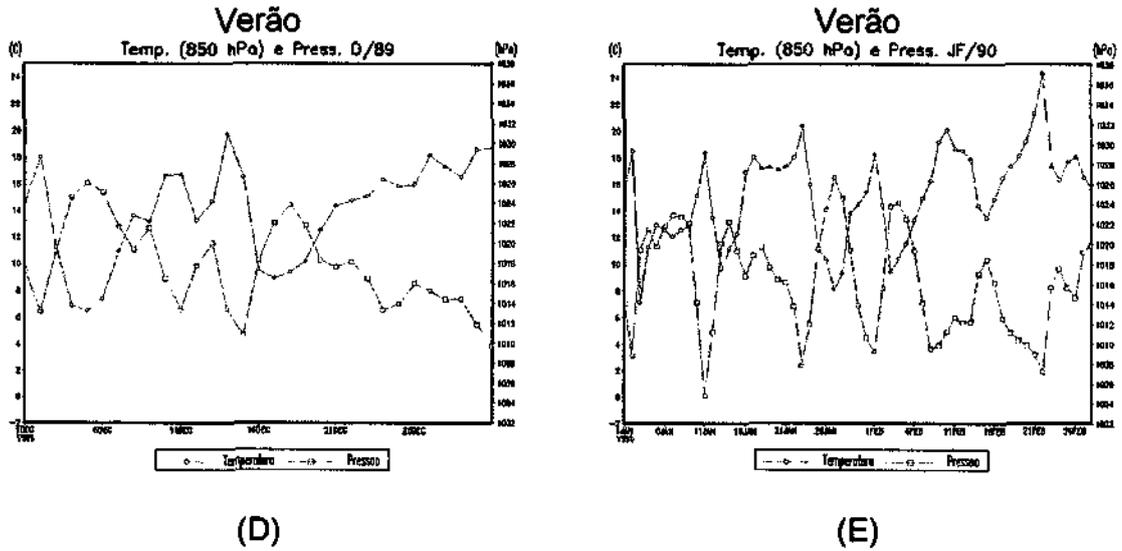
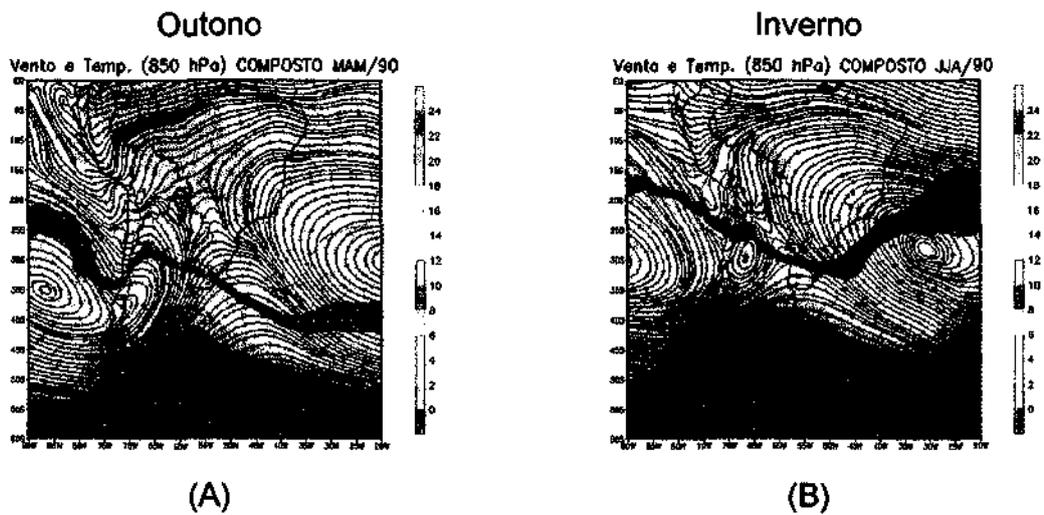


Fig. 15 (A, B, C, D, E) - Série temporal de Temperatura em 850 hPa e Pressão para 1990 (Membro 1)

Foram gerados compostos para análise do Membro 1 (Fig. 16 (A, B, C, D), que são as médias dos casos encontrados por estação no ano de 1990.

Analisando os campos de Temperatura e Vento em 850 hPa (Linhas de Corrente), podemos observar o gradiente de temperatura e a confluência dos ventos na região sul.

Nessas casos nota-se que o cavado em baixos níveis também ocorre em todas as estações do ano, com o eixo sobre o sul do Brasil ou Uruguai.



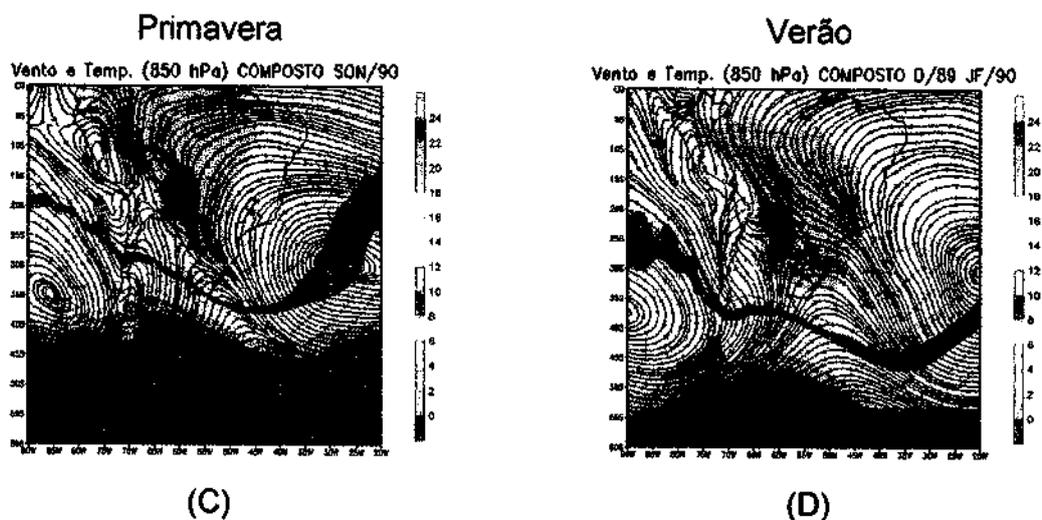
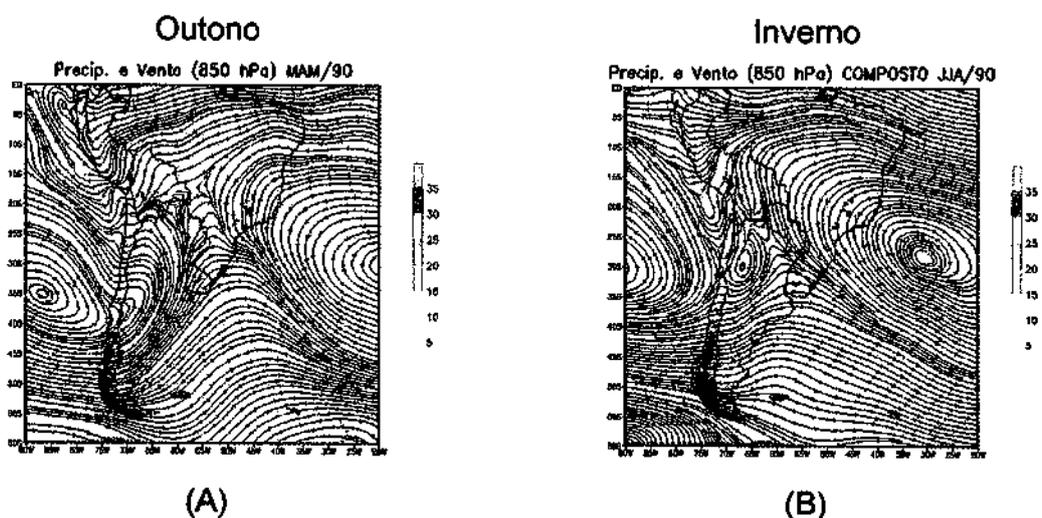


Fig. 16 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Temperatura em 850 hPa e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Membro 1)

Nos campos de Precipitação e Vento (Linhas de Corrente) (Fig. 17 (A, B, C, D)), podemos observar que ocorre precipitação na região de confluência dos ventos, associada aos sistemas frontais. No verão a confluência está localizada na região sudeste, assim como a banda de precipitação noroeste-sudeste.



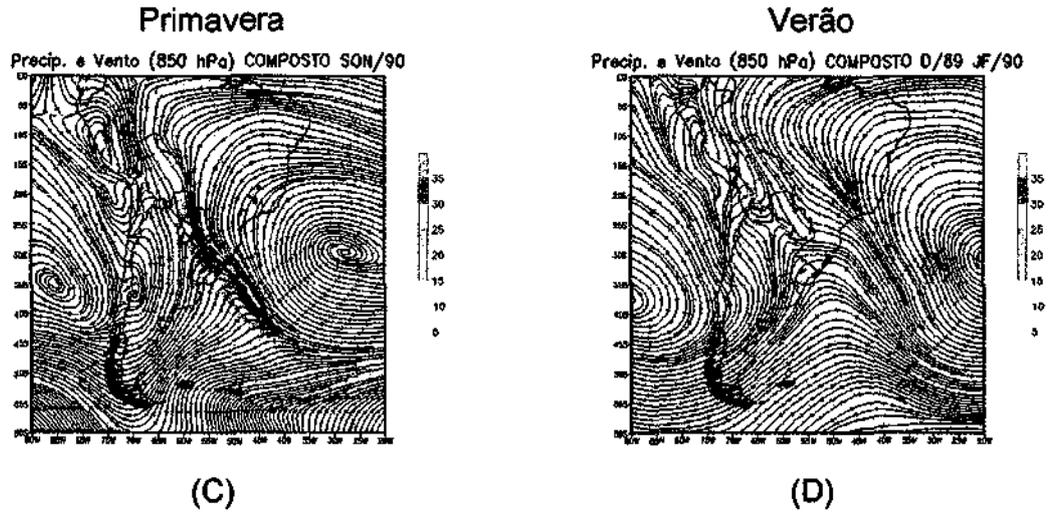


Fig. 17 (A, B, C, D) - Compostos das variáveis de Precipitação e Vento em 850 hPa dos casos encontrados nas estações do ano de 1990 (Membro 1)

V. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que o modelo simula a passagem de sistemas frontais, porém com pouca intensidade com relação à variação de temperatura e pressão. Na região sudeste o modelo simula bem as variações de precipitação maiores no verão do que no inverno, com a passagem dos sistemas, e na região sul simula bem a frequência dos sistemas, maior que na região sudeste. Nos compostos dos casos selecionados para cada estação, pode-se notar as características associadas, em diversas variáveis da atmosfera.

Nas quatro estações do ano foram destacados a confluência dos ventos em baixos níveis, o gradiente meridional de temperatura e a precipitação associada aos sistemas frontais.

Nota-se também que em muitos casos, a média do Ensemble (9 integrações) não representa o comportamento de um sistema frontal, que em cada integração pode estar em uma posição diferente. A análise realizada com cada integração individual produz melhores resultados e configurações que indicam a ação dos sistemas.

Sugere-se como estudo complementar, a análise da variabilidade interanual da frequência dos sistemas, associada às anomalias de grande escala na atmosfera.

VI. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Algarve, V. R.; I. F. A. Cavalcanti., 1994. CARACTERÍSTICAS DA CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA ASSOCIADAS À OCORRÊNCIA DE GEADAS NO SUL DO BRASIL. Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia, pp. 545-547. Belo Horizonte.

Bonatti, J.P., 1996: MODELO DE CIRCULAÇÃO GERAL ATMOSFÉRICO DO CPTEC. Climanálise Especial: 198 - 202.

CAVALCANTI, I. F. A.: Precipitação climatológica no GCM do CPTEC/COLA, resolução T42L18 In: X Congresso Brasileira de Meteorologia, 1998, Brasília, DF. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia. , 1998.

Cavalcanti , I. F.A., Marengo, J. A., Satyamurty, P., Nobre, C. A., Trosnikov, I., Camargo, H., Castro, C., Sanches, M., Sampaio, G., 2000: CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS SOBRE A AMÉRICA DO SUL NOS RESULTADOS DE UMA SIMULAÇÃO DE 10 ANOS COM O MCGA CPTEC/COLA NA VERSÃO T62L28. XI Congres. Bras. Meteo.: 3552-3556

Cavalcanti; I.F.A.; P. Satyamurty; J. A. Marengo; C. A. Nobre; I. Trosnikov; J.P.Bonatti; A. O. Manzi; T. Tarasova; C. D'Almeida; G. Sampaio; C. C. Castro; M. Sanches; H. Camargo; L. P. Pezzi, 2001 CLIMATE CHARACTERISTICS IN AN ENSEMBLE SIMULATION USING CPTEC/COLA ATMOSPHERIC GCM. Relatório Interno do INPE

Cavalcanti, I.F.A , A Grimm; V.Barros., 2001. VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO SOBRE A REGIÃO SUL/SUDESTE DA AMÉRICA DO SUL SIMULADA PELO MODELO DE CIRCULAÇÃO GLOBAL DA ATMOSFERA CPTEC/COLA. IX Congresso Latinoamericano e Ibérico de Meteorologia e VIII Congresso Argentino de Meteorologia, Maio 2001.

CAVALCANTI, I. F. A., NOBRE, P., TRONNIKOV, I. Simulação de verão e outono de 92/93 e 93/94 com o GCM CPTEC/COLA. In: IX Congresso Brasileiro

de Meteorologia, 1996, Campos do Jordão, SP. Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia. , 1996.

CAVALCANTI, I. F. A., KAYANO, M. T., 1999: Evolving high frequency atmospheric circulation patterns over the Southern Hemisphere. *Meteorology and Atmospheric Physics*.

Cavalcanti, I.F.A ; M.T.Kayano, 2000. Configurações de distúrbios de alta frequência no Hemisfério Sul em uma simulação com o MCGA CPTEC/COLA. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 16-20 Out., 2000.

Fortune, M.A.; V. E. Kousky, 1983. Two severe freezes in Brazil: PRECURSORS AND SYNOPTIC EVOLUTION. *Mon. Wea. Rev.*, 111, pp.181-196.

Kousky, V. E., 1979. FRONTAL INFLUENCES ON NORTHEAST BRAZIL. *Mon. Wea. Rev.*, 107, pp. 1140-1153.

Kousky, V. E. ; N/ J. Ferreira., 1981. INTERDIURNAL SURFACE PRESSURE VARIATIONS IN BRAZIL: THEIR SPATIAL DISTRIBUTIONS, ORIGIN AND EFFECTS. *Mon. Wea. Rev.*, 109, pp. 1999-2008.

KOUSKY, V. E., CAVALCANTI, I. F. A., 1997. The principal modes of high frequency variability over the South American region In: Fifth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 1997, Pretoria, South Africa. *Proceedings of the Fifth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*. , 1997. p.226 – 227

Lemos, C. F. e Calbete, N. O., 1996: SISTEMAS FRONTAIS QUE ATUARAM NO LITORAL DE 1987 A 1995. *Climanálise Especial*

VII. ANEXOS

VII.I Cronograma

1ª Fase do Projeto:

1. Coleta dos dados (arquivos)
2. Análise dos dados coletados
3. Criação de códigos
4. Análise dos resultados preliminares
5. Criação do Relatório Preliminar

2ª Fase do Projeto:

6. Reanálise dos dados coletados e dos resultados preliminares
7. Novas codificações com base na reanálise dos resultados preliminares
8. Análise dos resultados finais
9. Criação do Resumo do Projeto
10. Criação do Relatório Final