



Universidade de São Paulo  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
Departamento de Ciências Atmosféricas

Nadiara Pereira

# **Impactos dos ciclones extratropicais em eventos extremos de precipitação na Bacia do Rio da Prata**

São Paulo – Brasil  
2013

**Nadiara Pereira**

**Impactos dos ciclones extratropicais em eventos extremos  
de precipitação na Bacia do Rio da Prata**

**“Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade.”**

Dissertação apresentada ao instituto de  
Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas da  
Universidade de São Paulo para a obtenção do título  
de mestre em Ciências Atmosféricas.

**Orientador: Prof. Dr. Tércio Ambrizzi**

# Folha de aprovação

**Nadiara Pereira**

## **Impactos dos ciclones extratropicais em eventos extremos de precipitação na Bacia do Rio da Prata**

Dissertação apresentada ao instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de mestre em Ciências Atmosféricas.

**Aprovada em:**

**Banca examinadora:**

**Prof. Dr** .....

**Instituição** ..... **Assinatura** .....

**Prof. Dr** .....

**Instituição** ..... **Assinatura** .....

**Prof. Dr** .....

**Instituição** ..... **Assinatur** .....

## **Agradecimentos**

A Deus por ter me guiado e ter me dado força nos momentos difíceis para que eu não desistisse.

A minha família que apoiou minha vinda para São Paulo e mesmo distante, sempre se faz muito presente, me ajudando a manter o equilíbrio.

Ao meu Orientador, Tércio Ambrizzi, por ter acreditado em mim e dado a oportunidade de ser sua orientada. Por ter me dado palavras de incentivo e me entusiasmado a sempre continuar firme no meu objetivo.

Ao Luiz Fernando Kruger, a professora Rosmeri Porfirio Rocha e a Michelle Reboita pela ajuda com dados, programação e conteúdo deste Estudo.

Agradecer pelo apoio do projeto internacional chamado CLARIS-LPB, do qual este estudo faz parte.

As minhas primeiras colegas de apartamento aqui em São Paulo, Fabiani, Luana e Andréia pelo companheirismo e amizade.

A todos os meus colegas, professores e funcionários do IAG, que me ajudaram e estiveram presentes nesta etapa tão importante.

Aos meus colegas de trabalho, da Somar Meteorologia e do Canal Rural, pela parceria e amizade, nas horas boas e também nas horas difíceis. Obrigada pela paciência, compreensão e conselhos.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	6
RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1    Ciclones Extratropicais .....	13
1.2    Precipitação e eventos extremos.....	16
1.2    Região de estudo: Bacia do Rio da Prata .....	18
1.3    Objetivos.....	20
2 DADOS E METODOLOGIA .....	21
2.1    Modelo Numérico Regional .....	21
2.2    Simulações Climáticas Regionais.....	22
2.3    Rastreamento de Ciclones .....	23
2.4    Dados de Reanálise do ERA-Interim .....	25
2.5    Dados observacionais CPC.....	25
2.6    Eventos extremos e técnica dos quantis .....	26
2.7    Análise separada de extremos chuvosos para todos os eventos.....	27
Evento: Ciclone Extratropical, dia 10 de julho de 2000.....	27
3 RESULTADOS .....	31
3.1    Análise da precipitação sobre a região da Bacia do Rio da Prata.....	31
3.1.1    Dados simulados do RegCM3 X Dados da Re-análise Era-Interim X dados observados do CPC.....	31
3.1.2    Eventos extremos chuvosos.....	35
3.2    Ciclones Rastreados.....	38
3.2.1    Análise da densidade de ciclones próximos a região da Bacia do Rio da Prata .....	47
3.3    Ciclones extratropicais associados a ocorrência de eventos extremos chuvosos sobre a Bacia do Rio da Prata.....	56
3.3.1    Distribuição mensal, sazonal e número de ciclones relacionados a eventos extremos chuvosos.....	57
3.3.2    Regiões preferenciais de ocorrência de extremos chuvosos que podem estar relacionados à ocorrência de Ciclones.....	62
4 CONCLUSÕES .....	75
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
5 ANEXOS .....	84
Anexo 1 .....	84
Anexo 2 .....	85

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Regiões preferenciais de ocorrência de ciclones sobre a costa da América do Sul. Climatologia anual realizada por Gan e Rao(1991).....	14
Figura 2 – Densidade de ciclones sobre a costa da América do Sul. Fonte: Reboita(2008) .....	16
Figura 3 – Região de Estado, Bacia do Rio da Prata.....	19
Figura 4 – Trajetória do Ciclone Extratropical que se formou as 06:00UTC do dia 10 de julho de 2000 sobre a costa da região Sul do Brasil.....	28
Figura 5 – Sequência de imagens de satélite Goes – 8, no canal infravermelho, a cada 6 horas no período entre as 06:00UTC do dia 10 e as 00:00UTC do dia 13 de julho de 2000.....	29
Figura 6 – Anomalias de eventos extremos muito chuvosos para os dias 10, 11, 12 e 13 de julho de 2000 para dados de precipitação simulados pelo RegCM3.....	31
Figura 7 –Climatologia da precipitação diária para o período entre 1989 e 2007. Na primeira coluna para os dados da reanálise ERA-Interim, na segunda coluna para os dados simulados do RegCM3 e na terceira coluna para os dados observados do CPC.....	32
Figura 8 –Climatologia da precipitação para o verão(DJF) para o período entre 1989 e 2007. Na primeira coluna para os dados da reanálise ERA-Interim, na segunda coluna para os dados simulados do RegCM3 e na terceira coluna para os dados observados do CPC.....	33
Figura 9 - Climatologia da precipitação para o outono (MAM), para o período entre 1989 e 2007. Na primeira coluna para os dados da reanálise ERA-Interim, na segunda coluna para os dados simulados do RegCM3 e na terceira coluna para os dados observados do CPC.....	33

Figura 10 - Climatologia da precipitação para o inverno (JJA), para o período entre 1989 e 2007. Na primeira coluna para os dados da reanálise ERA-Interim, na segunda coluna para os dados simulados do RegCM3 e na terceira coluna para os dados observados do CPC..... 34

Figura11 – Climatologia da precipitação para a primavera no período entre 1989 e 2007. Na primeira coluna para os dados da reanálise ERA-Interim, na segunda coluna para os dados simulados do RegCM3 e na terceira coluna para os dados observados do CPC..... 34

Figura 12 – Climatologia diária, de extremos chuvosos, percentil 0.85, para os dados da reanálise do ERA-Interim, dados simulados do RegCM3 e observados do CPC respectivamente, para o período de 1989 a 2007..... 36

Figura 13 – Climatologia diária, de extremos chuvosos para os meses de verão(DJF), percentil 0.85, para os dados da reanálise do ERA-Interim, dados simulados do RegCM3 e observados do CPC respectivamente, para o período de 1989 a 2007.....36

Figura 14 – Climatologia diária, de extremos chuvosos para os meses de outono (MAM) percentil 0.85, para os dados da reanálise do ERA-Interim, dados simulados do RegCM3 e observados do CPC respectivamente, para o período de 1989 a 2007.....37

Figura 15 – Climatologia diária, de extremos chuvosos para os meses de inverno (JJA) percentil 0.85, para os dados da reanálise do ERA-Interim, dados simulados do RegCM3 e observados do CPC respectivamente, para o período de 1989 a 2007..... 37

Figura 16 – Climatologia diária, de extremos chuvosos para os meses de

primavera (SON) percentil 0.85, para os dados da reanálise do ERA-Interim, dados simulados do RegCM3 e observados do CPC respectivamente, para o período de 1989 a 2007.....	38
Figura 17 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do ERA Interim, rastreados entre os anos de 1989 a 2007.....	39
Figura 18 – Distribuição anual do número de ciclones, dos dados do ERA Interim, rastreados entre os anos de 1989 a 2007.....	40
Figura 19 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do RegCM3, rastreados entre os anos de 1989 a 2007.....	41
Figura 20 – Distribuição anual do número de ciclones, dos dados do RegCM3, rastreados entre os anos de 1989 a 2007.....	48
Figura 21 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do ERA-Interim, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	43
Figura 22 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do RegCM3, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	44
Figura 23 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do ERA-Interim, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	45
Figura 24 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do RegCM3, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	46
Figura 25 – Densidade de ciclones calculada através dos dados do ERA Interim de 1989 a 2007, para o limiar $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	49
Figura 26 – Densidade de ciclones calculada através dos dados do ERA Interim de 1989 a 2007, para o limiar $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	51



Figura 27 – Densidade de ciclones calculada através dos dados do RegCM3 de 1989 a 2007, para o limiar $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	53
Figura 28 – Densidade de ciclones calculada através dos dados do RegCM3 de 1989 a 2007, para o limiar $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	55
Figura 29 – percentual de eventos relacionados a eventos extremos de precipitação para os eventos rastreados nos dados do ERA-Interim, com limiar de $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	59
Figura 30 – Idem a figura 27, mas com limiar de $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	60
Figura 31 – Idem a figura 27, mas com limiar de $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	60
Figura 32 – Percentual de eventos relacionados a eventos extremos de precipitação para os eventos rastreados nos dados do RegCM3, com limiar de $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	61
Figura 33 – Idem a figura 30, mas com limiar de $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	61
Figura 34 – Idem a figura 30, mas com limiar de $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	62
Figura 35 – Densidade de ciclones relacionados a eventos extremos chuvosos e média dos respectivos eventos extremos, calculados através dos dados da reanálise do ERA Interim, de 1989 a 2007. Limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	66
Figura 36 – Idem a figura 35, mas com limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	68
Figura 37 – Densidade de ciclones relacionados a eventos extremos chuvosos e média dos respectivos eventos extremos, calculados através dos dados simulados pelo RegCM3, de 1989 a 2007. Limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	72

Figura 38 – Idem a figura 33, mas com limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	74
Figura 39 – Variação anual e sazonal da densidade de ciclones calculada através dos dados do ERA-Interim de 1989 a 2007, para o limiar $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	85
Figura 40 – Variação anual e sazonal da densidade de ciclones calc.através dos dados do RegCM3 de 1989 a 2007, para o limiar $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	86
Figura 41 – Densidade de ciclones relacionados a eventos extremos chuvosos e média dos respectivos eventos extremos, calculados através dos dados simulados pelo ERA-Interim, de 1989 a 2007. Limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	88
Figura 42 – Densidade de ciclones relacionados a eventos extremos chuvosos e média dos respectivos eventos extremos, calculados através dos dados simulados pelo RegCM3, de 1989 a 2007. Limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .....	90

## RESUMO

Este estudo analisa Ciclones Extratropicais que se formam nas proximidades da região da Bacia do Rio Prata e os eventos extremos de precipitação que estes sistemas ocasionam sobre a região. Ciclones extratropicais são muito estudados, justamente, por serem sistemas de grande escala que influenciam fortemente nas condições de Tempo na região em que se formam e atuam. Sobre a América do Sul, especialmente na região de Bacia do Rio da Prata, o desenvolvimento, intensidade e frequência destes sistemas estão fortemente associados com a ocorrência de eventos extremos de precipitação intensa ou dias consecutivos de chuva, entre outros eventos extremos como, por exemplo, queda acentuada da temperatura e intensos vendavais. O Estudo é direcionado para a região da Bacia do Rio Prata, já que é a segunda maior bacia da América do Sul (AS), sendo importante para o aproveitamento hidrelétrico, interligação de bacias para navegação, abastecimento de água para grandes populações, irrigação, e outros. Para a identificação dos ciclones foi utilizado um esquema automático de detecção de trajetória para dados simulados pelo modelo regional RegCM3 e para dados de reanálise do ERA-Interim no período de 1989 a 2007 . Para a verificação de eventos extremos chuvosos, é realizada a comparação entre as simulações numéricas do RegCM3, a reanálise do ERA-Interim e dados observacionais do Centro de Previsão Climática (CPC). Os resultados indicam que o RegCM3 é capaz de simular a precipitação intensa causada por Ciclones Extratropicais e se aproximam dos dados observacionais.

## **ABSTRACT**

This study examines extratropical cyclones that form near the La Plata Basin region and the extreme rainy events caused by these systems. A better understand of the Extratropical cyclones in this region are important because they are large-scale systems that have great influence in the weather on the area they are generated and active. In the La Plata Basin region, the development, intensity and frequency of these systems are strongly associated with the occurrence of intense precipitation events or consecutive rainy days. This study is applied over the La Plata Basin region, which is the second largest basin in South America (SA), being important for the hydroelectric powerplans, interconnection of basins for navigation, water supply for large populations, irrigation, and many other uses. An automatic scheme was applied for the identification and trajectory of the cyclones using data simulated by the RegCM3 and data reanalysis by the ERA-Interim in the period 1989 to 2007. To validate the rainy extreme events simulated by the regional model and ERA-Interim reanalysis the observational data from Climate Prediction Center (CPC) is used. The results indicated that the RegCM3 is able to simulate the heavy rainfall caused by extratropical cyclones and it is in good agreement with observational data.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Ciclones Extratropicais

Os ciclones extratropicais tem papel fundamental na climatologia da precipitação sobre a região dos extratropicos na América do Sul. Estes sistemas também apresentam contribuição decisiva na manutenção do clima global já que são responsáveis por grande parte do transporte de calor e umidade na atmosfera (Peixoto e Oort, 1992). A importância destes sistemas vai além das influências que causam no clima. Os ciclones fazem parte do grupo de fenômenos severos de escala sinótica que trazem muitos impactos a vida humana. Sendo responsáveis muitas vezes por elevadas taxas de precipitação e também ventos intensos, causando prejuízos econômicos nas regiões afetadas. No oceano e, particularmente, no Atlântico Sul, a passagem de ciclones extratropicais provoca ressacas que atingem cidades importantes da costa brasileira, ocasionando impactos prejudiciais à região.

A América do Sul é uma região bastante afetada por estes sistemas e um dos motivos é a presença dos Andes, já que a ciclogênese é um fenômeno que se manifesta principalmente a sotavento das cadeias montanhosas (Sinclair, 1995). Através dos trabalhos de Taljaard (1967), Necco (1982 a e b), Gan e Rao (1991), Sinclair (1994 e 1995) e Simmonds e Keay (2000) tem-se que a costa leste da América do Sul é uma zona ciclogênética.

Taljaard(1967) foi um dos primeiros a estudar a distribuição e frequência de ciclones para o Hemisfério Sul, utilizando apenas análise visual de mapas de pressão em Superfície. Ele estudou o período de julho de 1957 a dezembro de 1958 e encontrou maior frequência de ciclogênese nas latitudes médias, entre 35° e 55°S, com máximos em 45°S, preferencialmente nos setores oeste dos oceanos subtropicais.

Simmonds e Keay (2000a e b) apresentaram aspectos interessantes da climatologia de ciclones no Hemisfério Sul. A variabilidade sazonal é pequena, sendo o número máximo de ciclones detectados no inverno, correspondendo a em torno de 12% maior que no verão. Durante todas as estações do ano, foi observada maior concentração de ciclones entre 50° e 70°S e em segundo lugar entre 30° e 50°S. A costa da Antártica foi caracterizada por uma intensa atividade ciclogênética. No invernos os ciclones são mais intensos do que no

verão, localizados preferencialmente próximo ao continente Antártico. A duração média de um ciclone é de 3 dias, sendo que os que ocorrem entre 50° e 70°S são os mais persistentes.

Gan e Rao (1991), analisaram 10 anos de cartas sinóticas sobre a América do Sul e mostraram máximos de ciclogêneses nos meses de inverno (junho, julho e agosto) e mínimos nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro). Este estudo identificou duas regiões de maior ocorrência de ciclogêneses: sobre o Golfo de São Matias (42,5°S e 62,5°W) e Uruguai (31,5°S e 55°W). Estas duas regiões combinam dois processos ciclogenéticos importantes, que são a instabilidade baroclínica local e ciclogênese orográfica devido à presença dos Andes.

A figura 1 mostra essas duas regiões sendo que o núcleo mais a ao norte esta associado a distúrbio baroclínico se movendo sobre uma cadeia de montanhas e o núcleo mais ao Sul associado com a instabilidade baroclínica local no escoamento de oeste

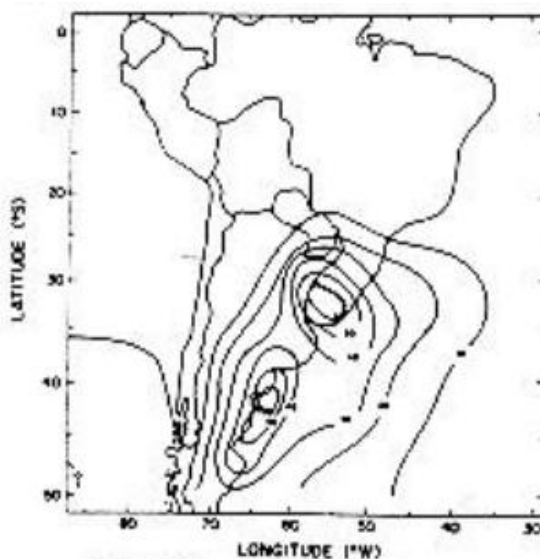


Figura 1 – Regiões preferenciais de ocorrência de ciclones sobre a costa da América do Sul. Climatologia anual realizada por Gan e Rao(1991).

Estudos mais atuais aprimoraram os métodos de rastreamentos de ciclones e atualmente já se utiliza rastreamento automáticos, que podem ser aplicados para rastrear mínimos de pressão e de vorticidade.

Murray e Simmonds (1991) criaram um algoritmo, no qual os centros de baixa pressão são detectados através de mínimos de pressão. A utilização da pressão apresenta algumas deficiências e pode produzir distorções na localização dos ciclones e tendência a favorecer um decréscimo na pressão central de um sistema fazendo com que, muitas vezes, sistemas móveis não sejam localizados.

Estudos posteriores, como Sinclair (1994), mostraram que seria mais adequado o uso de mínimos locais de vorticidade relativa geostrófica, ao invés de mínimos de pressão no algoritmo de Murray e Simmonds. Esta variável permite incluir centros móveis adicionais entre as latitudes de 45° e 55°S, além disso, pode capturar adequadamente atividade ciclônica transiente. Algumas desvantagens seriam os limiares de vorticidade utilizados, já que a mesma é bastante dependente da resolução horizontal que é utilizada em seus cálculos.

Utilizando o algoritmo de Murray e Simmonds, na pressão ao nível do mar da re-análise do NCEP entre 1973 a 1996, Pezza e Ambrizzi (2003) obtiveram uma climatologia de ciclones e anticiclones no inverno (junho, julho e agosto) no Hemisfério Sul. Este estudo também mostra uma área com alta frequência de ciclones e anticiclones entre 30° S e 60° S, que é aproximadamente a posição climatológica no Hemisfério Sul da atividade transiente. Os autores investigaram ainda a variabilidade do processo de rastreamento e sua relação com os eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Eles escolheram alguns anos de El Niño e La Niña para a análise e obtiveram maior concentração de ciclone próximo à alta do Atlântico Sul subtropical durante os anos de El Niño, enquanto que a maior concentração próxima a alta do Pacífico Sul subtropical foi em anos de La Niña. Por outro lado, o rastreamento de ciclones mostrou uma maior variabilidade, com um excesso de baixas sobre o Pacífico subtropical, oeste da América do Sul e sul da Argentina durante os anos de El Niño e uma atividade mais pronunciada sobre o Atlântico subtropical e o sudeste da Austrália durante os anos de La Niña.

Reboita (2008) utilizou um esquema automático no rastreamento de ciclones em dados de reanálise do NCEP, para o período entre 1990 e 1999, utilizando vorticidade relativa do vento a 10m de altura e o valor mínimo de vorticidade para incluir sistemas inicialmente mais fraco, Sugahara (2000).

Esse estudo investigou apenas sistemas que se originam na costa leste da América do Sul e encontrou três áreas ciclogênicas: leste do sul/sudeste do Brasil, foz da Bacia do Prata (Uruguai) e leste da Argentina em aproximadamente 45°S (figura 2). Além disso encontrou maior frequência sazonal de ciclogêneses é diferente em cada uma das áreas. No leste do sul/sudeste do Brasil e no leste da Argentina as ciclogêneses são mais frequentes no verão, enquanto no Uruguai, no inverno.

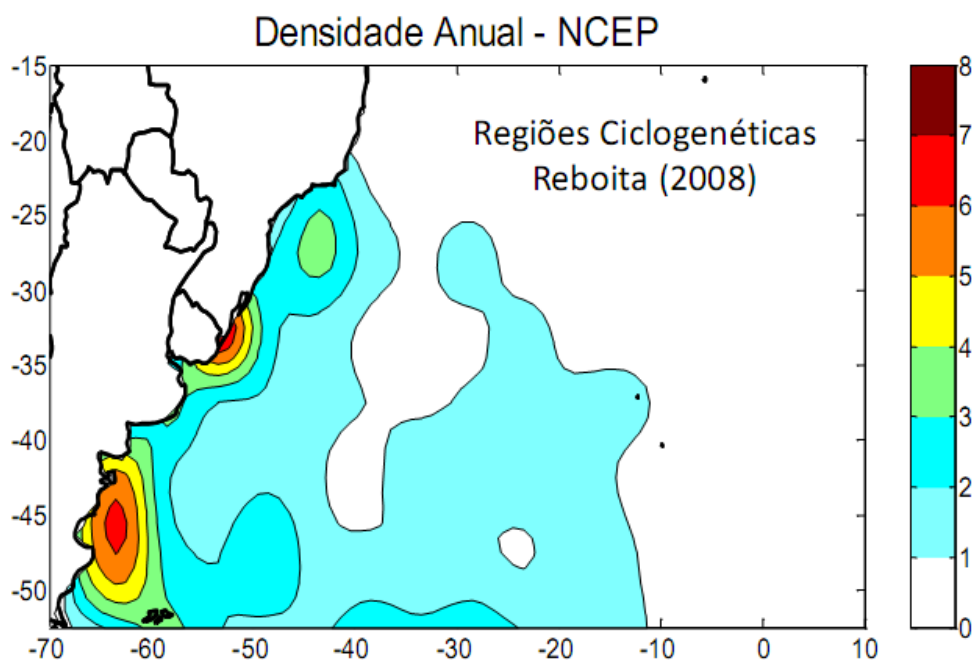


Figura 2 – Densidade de ciclones sobre a costa da América do Sul. Fonte: Reboita (2008).

## 1.2 Precipitação e eventos extremos

A precipitação é uma importante variável meteorológica que influencia diretamente no cotidiano da sociedade. É uma variável muito importante, pois o excesso ou a falta desta pode ocasionar fortes impactos em cidades populosas, para a Agricultura, produção de alimentos, no setor de energia, na saúde humana, entre outros fatores.

Atualmente o conhecimento da distribuição e comportamento da precipitação é indispensável para o planejamento de vários setores da sociedade.



Além da precipitação média, os eventos extremos tem grande relevância também na vida humana. Estes eventos extremos, podem ser chuvas em excesso ou em déficit. O estudo destes eventos é de grande importância, já que, chuvas em excesso podem ocasionar enchentes com transbordamento de rios e alagamentos de cidades, erosão no solo com deslizamentos de encostas e também perdas na agricultura e também pode ser um meio de proliferação de doenças. A falta de chuvas também tem consequências parecidas, pois pode ocasionar perdas em vários setores, como na agricultura, energia e também a saúde humana, pois em alguns casos, períodos prolongados de tempo seco deixam populações sem água potável para beber.

Para a definição de eventos extremos de precipitação, já foram utilizadas muitas técnicas. A escolha da melhor técnica para a definição de um extremo depende de quais são os interesses dos estudos.

Uma das técnicas bastante utilizadas é a técnica dos quantis, que é estatística útil para a determinação de patamares baseados na sua distribuição de probabilidades. O método consiste em organizar a série de dados na ordem crescente e então é dividido em  $n$  partes, que consistem os quantis. Se dividirmos a série em três partes, por exemplo, teremos os quantis de 25%, 50% e 75%. Se a divisão for em 99 partes corresponde ao percentil, assumindo a probabilidade de 1% para cada ordem (Xavier; Xavier; Alves, 2007). Uma explicação mais detalhada desta técnica é apresentada na Metodologia.

Um dos mais importantes e dos primeiros estudos que utilizaram a técnica dos quantis, Pinkayan(1966) que a usou para avaliar extremos secos e extremos chuvosos sobre os Estados Unidos. Em seu estudo utilizou os percentis:  $p=0,15$ ,  $0,35$ ,  $0,65$  e  $0,85$ , para delimitar respectivamente as categorias: Muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso.

Teixeira e Satyamurty (2011) aplicaram a técnica dos quantis para a determinação dos casos extremos, com a análise dos quantis 99% e 99.9% para as regiões Sudeste e Sul do Brasil.

Xavier e Xavier (1999) utilizaram também a técnica dos quantis para verificar extremos sobre o Estado do Ceará, no período entre 1964 e 1996. Neste estudo foram utilizadas as categorias: MUITO SECO (MS), SECO (S),

NORMAL (N), CHUVOSO (C) e MUITO CHUVOSO (MC), a partir dos intervalos que são delimitados pelos “quantis” de cada série pluviométrica, a níveis das ordens quantílicas 15%, 35%, 65% e 85%. Sendo que o quantil de ordem 50% é a mediana.

## **1.2 Região de estudo: Bacia do Rio da Prata**

A área de interesse deste estudo é a região da bacia do Prata (figura 3), que é a segunda maior Bacia do país e se estende entre Brasil, Uruguai, Bolívia, Paraguai e Argentina. Ela é formada pelos rios Paraguai, Paraná e Uruguai que juntos drenam uma área correspondente a 10,5% do território brasileiro, com 3,2 milhões de km<sup>2</sup>. Ela abrange os Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Dessa bacia obtém-se importante aproveitamento hidrelétrico, planos de interligação de bacias para navegação, abastecimento de água de grandes populações, irrigação, e muitos outros usos da água - que desconhece fronteiras políticas. É uma região altamente populosa e tem uma atividade agrícola muito extensa.

A região da bacia do Prata (BP) apresenta diferentes regimes climáticos, onde no seu setor norte caracteriza-se por verão chuvoso e inverno seco. O estabelecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul durante o verão controla a estação chuvosa no setor norte da BP. Na parte sul, os sistemas transientes atuantes garantem uma distribuição quase homogênea de chuva ao longo do ano (Vera et al 2002; Reboita, 2008). Entre os principais transientes estão os ciclones extratropicais e as frentes frias associadas. Os sistemas de mesoescala também possuem uma grande contribuição para as condições climáticas na parte sul da Bacia do Prata. O clássico trabalho de Velasco e Fritsch (1987) mostrou que os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) durante o verão são responsáveis pelo tempo severo nesta região, sendo este resultado posteriormente confirmado por Torres e Nicolini (1999); Nicolini et al. (2002); Torres (2003); Salio et al. (2004), e Salio et al. (2006). Simulações numéricas dos SCMs têm ajudado a descrever em mais detalhes a estrutura e

ciclo de vida destes sistemas, além de sua importância na geração de precipitação intensa nesta região (Helber, 2007).



Figura 3 – Região da Bacia do Rio da Prata. Fonte: [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)

### **1.3 Objetivos**

O objetivo geral deste projeto é investigar a climatologia de ciclones sobre a região da Bacia do Rio da Prata (BP) e o potencial destes ciclones em produzir eventos extremos de precipitação sobre a região de Estudo.

Para representar a climatologia, são utilizadas simulações do modelo regional RegCM3 aninhado na re-análise do modelo Global ERA-Interim.

As análises realizadas pretendem:

1. Obter a climatologia dos ciclones simulados pelo RegCM3 e verificar se os resultados correspondem aos modelos Globais e se melhoram seus resultados.
2. Fazer climatologia e estudar os extremos de precipitação sobre a área de abrangência da Bacia do Rio da Prata.
3. Estudar o impacto dos ciclones extratropicais obtidos na climatologia dos extremos de precipitação na região de Estudo.

## 2 DADOS E METODOLOGIA

### 2.1 Modelo Numérico Regional

O RegCM3 é um modelo compressível, em diferenças finitas, hidrostático e em coordenada vertical sigma e uma detalhada deste modelo é encontrada em Pal et al. (2007) e Giorgi et al. (1993a-b).

Os processos de interação solo-planta-atmosfera no RegCM3 são parametrizados através do esquema Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS, Dickinson et al., 1993). Este esquema resolve a interação entre o solo e vegetação nas trocas turbulentas de momento, energia e vapor d'água entre a superfície e atmosfera. O BATS possui uma camada de vegetação, uma de neve e três camadas de solo em diferentes profundidades: uma de 10 cm de espessura, uma na zona de raiz (2 m de espessura) e uma de solo profundo (3 m de profundidade). Na presença de vegetação, as temperaturas do ar no dossel e na folhagem do dossel são diagnosticadas através do balanço de energia. O ciclo hidrológico é obtido através de equações de previsão do conteúdo de água nas três camadas de solo. Os transportes turbulentos de calor, momento e umidade na camada limite planetária (CLP) resultam do produto entre o gradiente vertical destas variáveis e o coeficiente de difusão vertical turbulenta.

O RegCM3 parametriza a transferência radiativa como no modelo global CCM3 (Community Climate Model 3; Kiehl et al., 1996), isto é, calcula separadamente as taxas de aquecimento e fluxos na superfície para a radiação solar e infravermelho sob condições de céu claro e nublado. Os cálculos na banda do infra-vermelho consideram as contribuições dos gases  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$  e nuvens, enquanto que para a radiação solar considera os efeitos do  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$  e  $\text{O}_2$ . Além disso, inclui os efeitos dos gases de efeito estufa ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , CFC's), aerossóis atmosféricos e água de nuvem.

Um esquema para a convecção em cumulus profundo e outro para a precipitação na escala da grade são utilizados para resolver os processos úmidos no RegCM3. Para as presentes simulações será utilizada a parametrização de cumulus profundo de Grell com o fechamento de Fritsch-

Chappell (Pal et al. 2007), já que estudos anteriores mostram bons resultados sobre a América do Sul (da Rocha, 2005; Fernandez et al., 2006). No esquema de Grell (1993) a convecção cumulus profundo é representada por uma corrente ascendente e uma descendente que só se misturam com o ar ambiente na base e topo destas correntes. As correntes ascendente e descendente originam-se nos respectivos níveis de energia estática úmida máxima e mínima na coluna vertical. O esquema é ativado quando uma parcela ascendida do nível origem da corrente ascendente atinge a adiabática úmida. A condensação na corrente ascendente é calculada através da ascensão da parcela saturada sem misturar com o ambiente fora da nuvem. O fluxo de massa na corrente descendente é proporcional ao da ascendente através de um parâmetro  $\beta$ , que representa o quanto do condensado na corrente ascendente que será evaporado na descendente. O aquecimento e umedecimento resultante da aplicação do esquema são determinados a partir dos fluxos de massa de compensação e desentranhamento de massa no topo e base da nuvem. O fechamento do esquema de Grell usado, considera que a energia de flutuação disponível é removida durante um período de tempo específico (30 min a 1 hora), e nas simulações consideradas no presente estudo será utilizado 30 min.

A precipitação na escala da grade é resolvida pelo SUBEX (Subgrid Explicit Moisture Scheme; Pal et al. 2000). O SUBEX resolve uma equação para previsão de água de nuvem que é então diretamente utilizada nos cálculos de transferência radiativa.

Nas fronteiras laterais utiliza-se relaxação exponencial entre as previsões do RegCM3 e os dados de fronteira pois segundo Giorgi et al. (1993a) isto permite uma transição mais suave entre a previsão do modelo e os campos especificados nas fronteira, implicando em impacto positivo na climatologia simulada.

## **2.2 Simulações Climáticas Regionais**

As simulações climáticas aqui utilizadas foram realizadas com o RegCM3 para o clima atual. Estas simulações englobam grande parte do Oceano

Atlântico Sul e da América do Sul, especialmente a costa leste, que possui intensa atividade ciclogênica (Reboita 2008). O downscaling com o RegCM3 usou 50 km de resolução horizontal e 18 níveis verticais. Os dados de fisiografia (cobertura vegetal e tipo de solo) e topografia para as simulações são os do United States Geological Survey (USGS) e Global Land Cover Characterization (GLCC), respectivamente, com resolução horizontal de 10 minutos.

As condições iniciais da atmosfera usadas para a simulação são da reanálise do ERA-Interim do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), para o período de 1989 a 2008. Esse conjunto de dados possui um espaçamento de grade de 1.5° de latitude por longitude. Para uma melhor comparação com dados de Reanálise, os dados da simulação foram interpolados para 1° e o período utilizado foi de 1989 a 2007. A simulação analisada neste Estudo já estava pronta e foi gerada pelo Grupo de Estudos Climáticos – GrEC/USP.

### 2.3 Rastreamento de Ciclones

Foi utilizado um algoritmo de rastreamento automático, para identificar e rastrear os ciclones extratropicais. Esta metodologia é descrita em detalhes em Reboita (2008) e seus principais aspectos são apresentados a seguir:

O algoritmo usado para identificar e rastrear o ciclone extratropical identifica os ciclones através de mínimos de vorticidade relativa próximos à superfície.

Inicialmente calcula a vorticidade relativa ( $\zeta_{10}$ ) a partir das componentes horizontais do vento a 10 m de altura, através da equação:

$$\zeta_{10} = \frac{\partial v_{10}}{\partial x} - \frac{\partial u_{10}}{\partial y} \quad (1.0)$$

A busca dos sistemas é feita comparando a vorticidade em cada ponto de grade com os 25 pontos mais próximos. Então, um ponto é considerado centro

do ciclone se apresentar um mínimo local de vorticidade com valor menor ou igual a um limiar pré-estabelecido. Localizado o centro do ciclone, a sua posição é corrigida interpolando  $\zeta_{10}$  para uma grade com resolução 7 vezes maior do que a original. A diferença entre a posição do centro do ciclone na grade de baixa e alta resolução pode chegar cerca de 100 km. A interpolação para a grade de alta resolução é feita somente ao redor do ponto de mínimo local e não para todo o domínio.

A trajetória de um ciclone é definida como uma sequência de posições  $\{x(t),y(t)\}$ , em que o tempo  $t$  é contado a partir da primeira identificação até o desaparecimento, isto é, tempo total de vida do sistema. Para o *tracking*, o algoritmo usa a extrapolação da posição baseada na primeira estimativa da velocidade de deslocamento (Murray e Simmonds, 1991). O algoritmo identifica todos os ciclones no campo inicial, correspondente ao primeiro passo de tempo da análise. As coordenadas dos ciclones identificados são corrigidas para alta resolução. Busca-se então a posição seguinte de cada ciclone ao redor da posição anterior, fazendo uma varredura nos 24 pontos mais próximos na grade de baixa resolução. O mínimo local de vorticidade inferior ao limiar pré-definido é então considerado a nova posição, que também é corrigida para a grade de alta resolução. De posse deste ponto e do anterior, calcula-se a velocidade de deslocamento do sistema e a próxima posição é obtida usando essa estimativa de velocidade que fornece então a próxima posição do sistema. Então é novamente realizada uma varredura nos 24 pontos mais próximos. Avançando no tempo todos os ciclones inicialmente identificados serão perseguidos até o desaparecimento. Após identificar os ciclones no campo correspondente ao segundo passo de tempo e os procedimentos acima descritos são repetidos.

Como resultado final o algoritmo fornece a data de formação do ciclone e posições subsequentes (trajetória) até a sua dissipação. Em cada ponto da trajetória, têm-se informações de vorticidade, pressão ao nível médio do mar, latitude e longitude.



Os ciclones foram identificados quando um ponto de grade apresentou vorticidade menor do que a dos pontos vizinhos e menor ou igual ao limiar pré-definido. Neste trabalho foi utilizado primeiramente o limiar de  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Este limiar de foi utilizado por Reboita (2008) e em seus testes ela mostrou que este valor de vorticidade, para uma grade com resolução horizontal de  $2,5^\circ$ , permite identificar os ciclones desde a fase inicial. No entanto, neste trabalho são utilizados também os limiares de  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  e de  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , para analisar a variabilidade e distribuição de ciclones mais intensos sobre a região que circunda a Bacia do Rio da Prata.

Por fim o algoritmo fornece a data de formação do ciclone e suas posições subsequentes até sua dissipação, o que permite a traçar sua trajetória. Em Cada ponto da trajetória têm-se informações de vorticidade, latitude e longitude.

## **2.4 Dados de Reanálise do ERA-Interim**

Para a comparação com o modelo regional RegCM3, foram utilizados os dados da ERA-Interim que é a mais recente reanálise atmosférica global produzida pelo Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo (ECMWF). O projeto ERA-Interim foi realizado em parte para preparar um banco de reanálise e para substituir ERA-40, que apresentava várias dificuldades, incluindo a representação do ciclo hidrológico, a qualidade da circulação estratosférico e não possuía campos reanalisados. O ERA-Interim apresenta melhoras significativas em cada um destes aspectos. A resolução espacial é de  $1,5^\circ \text{ lat} \times 1,5^\circ \text{ lon}$ , e os dados são apresentados a cada três horas. Para comparação com o RegCM3, os dados do ERA-Interim foram interpolados para  $1^\circ \text{ lat} \times 1^\circ \text{ lon}$ .

## **2.5 Dados observacionais CPC**

A simulação climática da precipitação do RegCM3 e os dados do modelo Global ERA-Interim foram comparados com a climatologia de dados

observacionais do Centro de Previsão Climática (CPC) para os meses de inverno sobre a América do Sul. Os dados de precipitação do CPC são diários com 1° de resolução horizontal sobre a América do Sul e foi utilizado o período entre os anos de 1989 a 2007.

## 2.6 Eventos extremos e técnica dos quantis

Esta técnica consiste em organizar a série de dados na ordem crescente e então é dividido em  $n$  partes, que consistem os quantis. Se dividirmos a série em três partes, por exemplo, teremos os quantis de 25%, 50% e 75%. Se a divisão for em 99 partes corresponde ao percentil, assumindo a probabilidade de 1% para cada ordem. Uma amostra de quantil é um número tendo a mesma unidade que o dado, o qual excede a proporção dos dados dada pelo subscrito  $p$ , com  $0 \leq p \leq 1$ . A amostra quantílica  $q_p$  pode ser interpretada aproximadamente como aquele valor do dado que excede um membro escolhido aleatoriamente do conjunto de dado, com probabilidade  $p$  (WILKS, 1995). Além de colocar os dados em ordem crescente, defini-se para cada valor sua ordem quantílica:  $P_i = i/(N + 1)$ , onde  $N$  é o número de elementos da série.

Por último, se  $P_i$  com um  $P_i$  obtido, então:  $Q(P) = Q(P_i) = y_i$ , já se  $P$  não coincidir, há um índice  $i$  tal que  $P_i < P < P_{i+1}$ , onde  $Q(P)$  é obtido por interpolação, onde:

$$Q(P) = y_i + \{[P - P_i]/[P_{i+1} - P_i]\} * [y_{i+1} - y_i]$$

Neste estudo foram utilizados valores acima ou igual a um, considerando somente chuva maior ou igual a 1mm,

Pinkayan em 1966 realizou um dos primeiros trabalhos usando a técnica dos quantis para avaliar extremos secos e extremos chuvosos sobre os Estados Unidos. Em seu estudo utilizou os percentis:  $p=0,15, 0,35, 0,65$  e  $0,85$ , para delimitar respectivamente as categorias: Muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso. Limiares utilizados também por Xavier e Xavier (1999).

Neste trabalho é considerado o percentil de 0,85 para calcular os extremos muito chuvosos para dados diários de precipitação.

## **2.7 Análise separada de extremos chuvosos para todos os eventos**

Após a definição dos extremos chuvosos sobre a região de estudo, foram feitas as análises individuais de eventos extremos, ou seja, para cada dia em que houve atuação de um ciclone extratropical na área rastreada, foi verificado se houve extremo chuvoso sobre a Bacia do Rio de Prata.

Para cada evento, a climatologia de extremos foi subtraída das chuvas diárias registradas. Através desta subtração obteve-se a quantidade de chuva que excedeu o percentil de 0.85, para a região, considerada aqui como a anomalia de extremo chuvoso. Nos dias em que as chuvas excederam o percentil de 0.85, foi considerado que houve extremo chuvoso. Após o registro do extremo, foi realizada a análise para ver se estes eventos poderiam estar associados, ao ciclone que atuou na região.

Abaixo segue um exemplo de evento selecionado com extremo chuvoso relacionado ao ciclone extratropical que atuou no período.

### **Evento: Ciclone Extratropical, dia 10 de julho de 2000**

O evento aqui apresentado ocorreu no dia 10 de julho de 2000. Através do rastreamento e do ciclone (figura 4), observa-se que este sistema se formou sobre a costa da região Sul do Brasil na latitude de 31.75S e longitude de 50.00W , as 06UTC do dia 10. Após sua formação ele deslocou-se para leste e durou aproximou quatro dias (100 horas). Este sistema teve um tempo de duração acima da média. De acordo com Simmonds e Keay (2000a, b) e

Kruger (2009) os ciclones duram em média três dias.

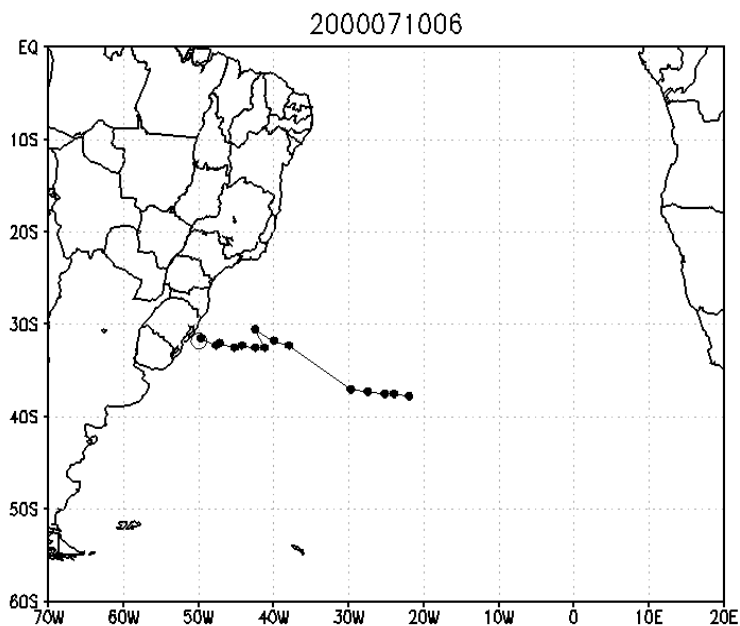


Figura 4 – Trajetória do Ciclone Extratropical que se formou as 06:00UTC do dia 10 de julho de 2000 sobre a costa da região Sul do Brasil.

Através das imagens de satélite do Canal Infravermelho do satélite GOES-8 (figura 5), pode-se observar a formação deste sistema através da estrutura da nebulosidade sobre a região. As figuras estão dispostas a cada 06 horas a partir das 06:00UTC do dia 10 de julho de 2000 até as 00:00UTC do dia 13 de julho, quando o centro do ciclone já encontrava-se afastado da costa do sul do Brasil.

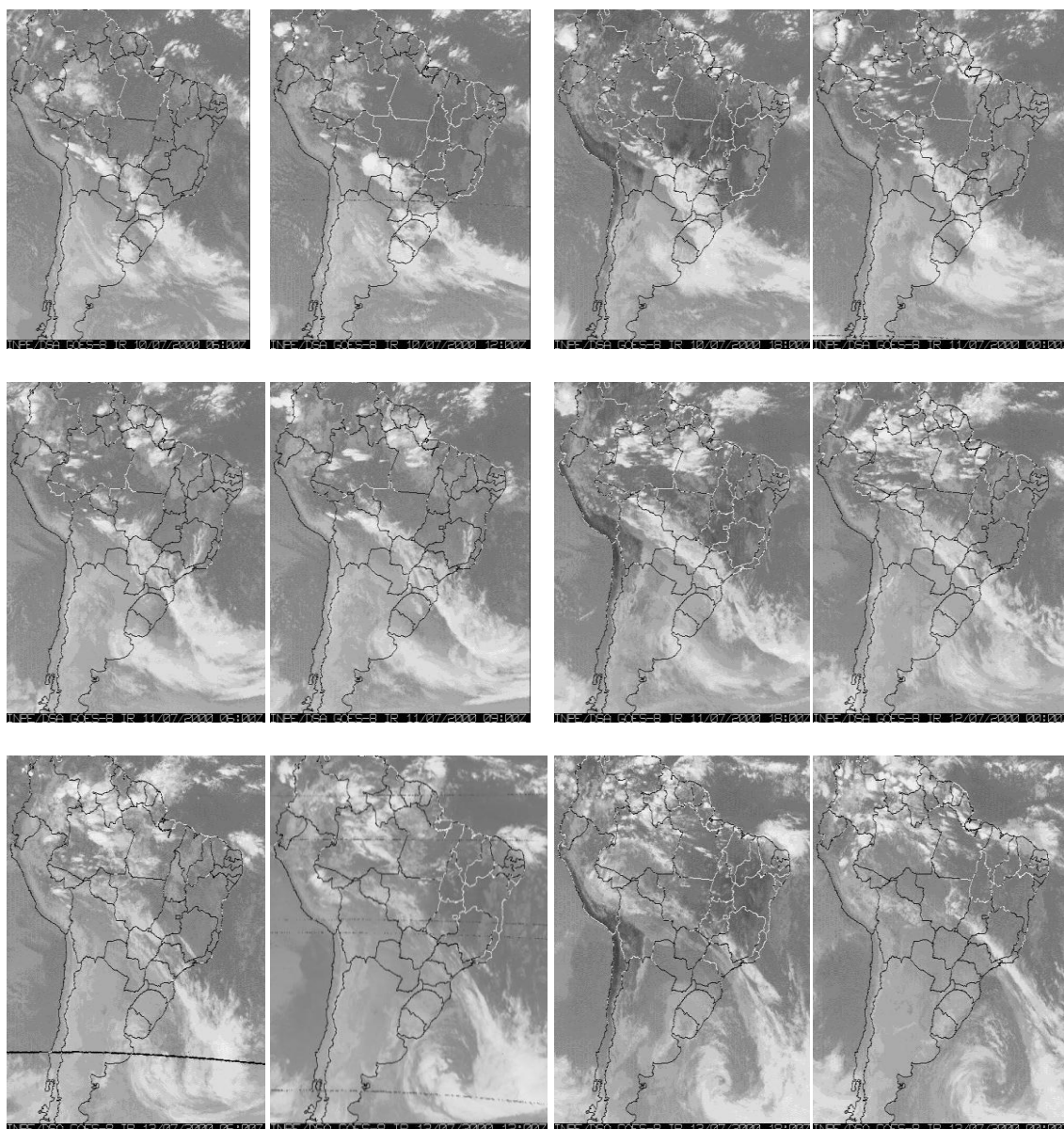


Figura 5 – Sequência de imagens de satélite Goes – 8, no canal infravermelho, a cada 6 horas no período entre as 06:00UTC do dia 10 e as 00:00UTC do dia 13 de julho de 2000. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/pedidoweb/pedido.ListaLogs.logic>

Para avaliar os extremos chuvosos ocorridos neste evento foi feito um cálculo de anomalia de eventos extremos no qual se subtrai a climatologia de extremos da taxa de chuva que ocorreu no dia de análise e obteve-se

excedente de chuvas acima do percentil 0.85, considerado aqui como um evento extremo chuvoso.

A figura 6 apresenta as anomalias de eventos extremos da simulação do RegCM3. No dia 10 de julho de 2000 observa-se chuvas mais espalhadas e intensas, que atingem o Sul do Brasil, parte do nordeste do Uruguai, extremo nordeste da Argentina e grande parte do Paraguai. No dia 11, a chuva se concentra mais sobre o Sul do Brasil, no dia 12, quando o ciclones já esta se afastando, ainda há extremos, porém, mais fracos e no dia 13 já não há registro de extremos chuvosos sobre a região da Bacia do Rio da Prata.

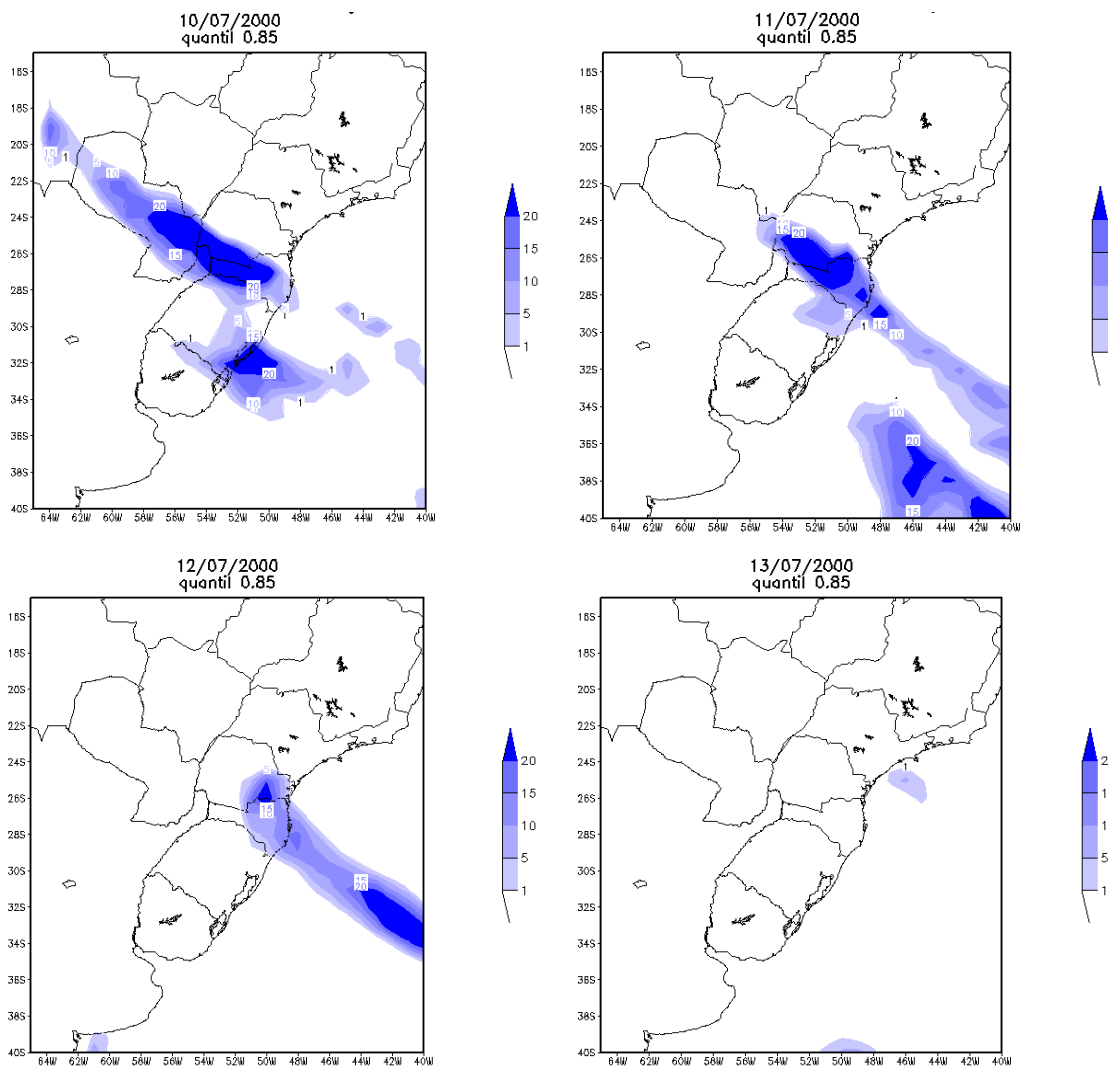


Figura 6– Anomalias de eventos extremos muito chuvosos para os dias

10, 11, 12 e 13 de julho de 2000 para dados de precipitação simulados pelo RegCM3.

Esse exemplo, além de ilustrar como é feita a análise para cada evento, também mostra que, neste caso, o RegCM3 simulou bem a precipitação ocasionada pelo ciclones extratropical, no período de atuação deste sistema.

## **3 RESULTADOS**

### **3.1 Análise da precipitação sobre a região da Bacia do Rio da Prata**

#### **3.1.1 Dados simulados do RegCM3 X Dados da Re-análise Era-Interim X dados observados do CPC**

Foram calculadas, através de dados do Era-Interim e dados simulados do RegCM3, médias climatológicas de precipitação diária para o período entre 1989 a 2007. Por fim, foram feitas climatologias para os dados observados do CPC, para verificar se os dados do modelo RegCM3 e da reanálise ERA-Interim se comparam ao grupo de dados observados do CPC. Inicialmente foi feita uma climatologia diária para o ano todo (Figura 7) e logo após as climatologias verão(figura 8), outono(figura 9), inverno(figura 10) e primavera(figura 11) para os três grupos de dados.

O RegCM3 apresenta similaridade com os dados originais do ERA-Interim e os observados dos CPC porém possui regiões um pouco mais secas, especialmente na região de interesse deste estudo, sobre o Uruguai e parte sudoeste do Rio Grande do Sul.

Para os meses de verão (figura 8), observou-se que, sobre a região da Bacia do Rio da Prata, os dados do ERA Interim apresentam os valores mais altos, distribuídos entre as regiões Sul e Sudeste. Já os dados do RegCM3

correspondem melhor aos dados observados do CPC, com extremos maiores sobre a porção norte da região Sul e principalmente sobre o Sudeste.

Nos meses de outono (figura 9) e inverno (figura 10), observa-se que as distribuições das chuvas dos dados do RegCM3, ERA Interim e CPC são similares. No entanto, o RegCM3 apresenta valores mais baixos sobre a porção sul da Bacia do Rio da Prata, em relação aos demais dados.

Os meses de primavera (figura 11) apresentam um distribuição diferente da precipitação para os dados do RegCM3. Enquanto os dados do ERA-Interim e os do CPC apresentam volumes mais elevados sobre o centro da região Sul do Brasil, os dados do RegCM3 apresentam os maiores valores sobre o leste entre as regiões Sul e Sudeste.

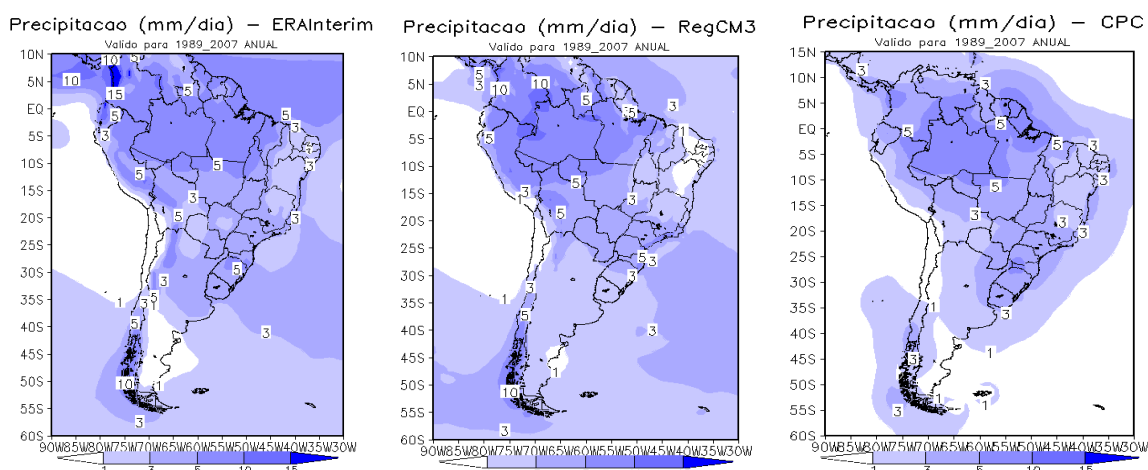


Figura 7 - Climatologia da precipitação diária para o período entre 1989 e 2007. Na primeira coluna para os dados da reanálise ERA-Interim, na segunda coluna para os dados simulados do RegCM3 e na terceira coluna para os dados observados do CPC.



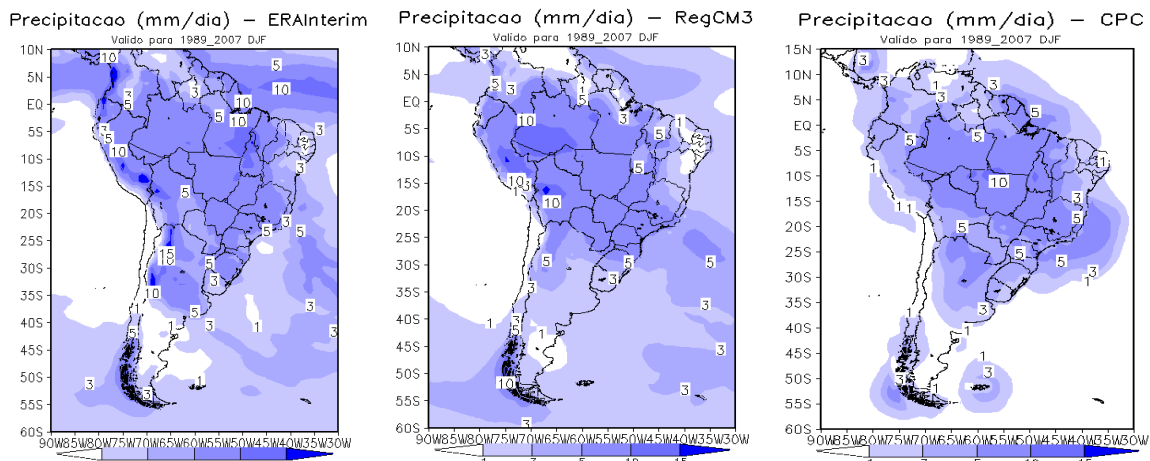


Figura 8 - Climatologia da precipitação para o verão(DJF) para o período entre 1989 e 2007. Na primeira coluna para os dados da reanalise ERA-Interim, na segunda coluna para os dados simulados do RegCM3 e na terceira coluna para os dados observados do CPC.

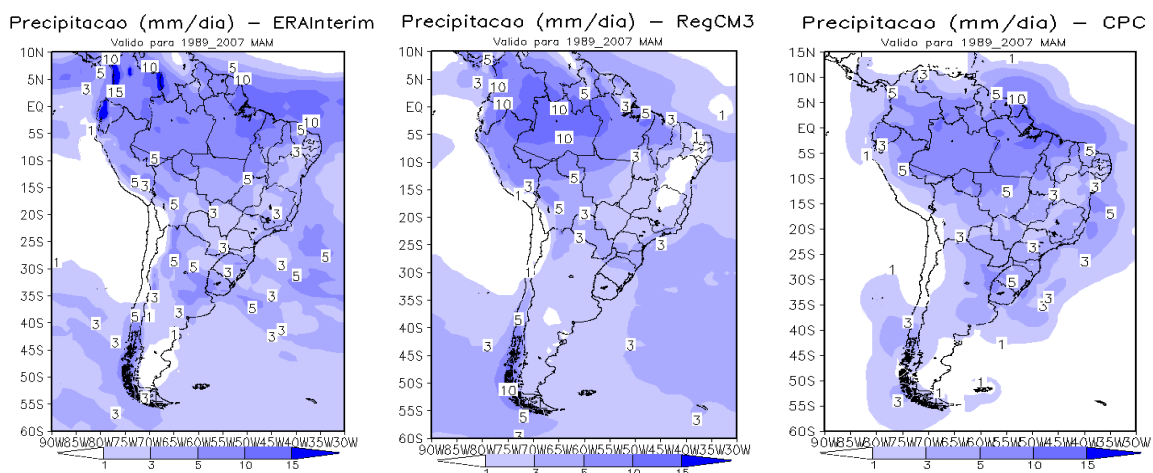


Figura 9 - Climatologia da precipitação para o outono (MAM), para o período entre 1989 e 2007. Na primeira coluna para os dados da reanalise ERA-Interim, na segunda coluna para os dados simulados do RegCM3 e na terceira coluna para os dados observados do CPC.

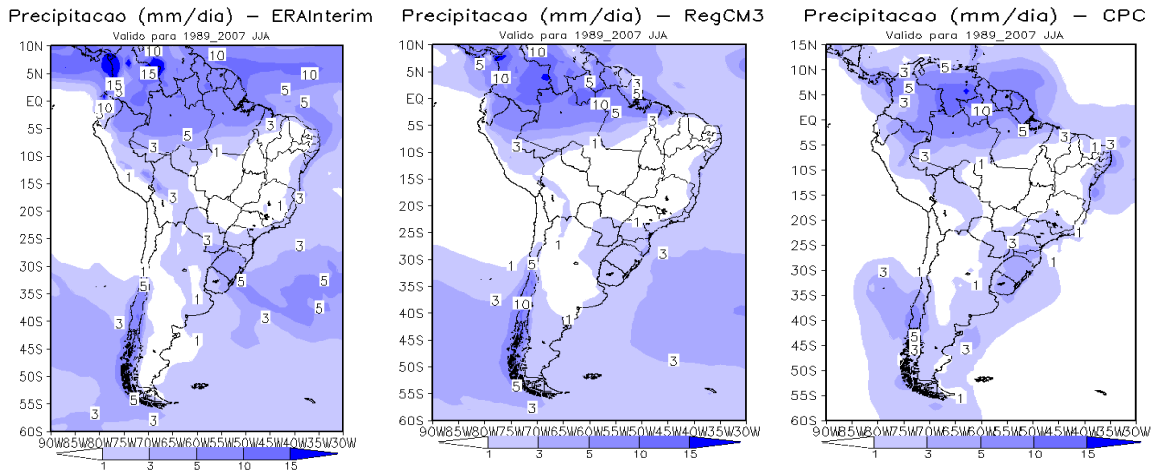


Figura 10 - Climatologia da precipitação para o inverno (JJA), para o período entre 1989 e 2007. Na primeira coluna para os dados da reanálise ERA-Interim, na segunda coluna para os dados simulados do RegCM3 e na terceira coluna para os dados observados do CPC.

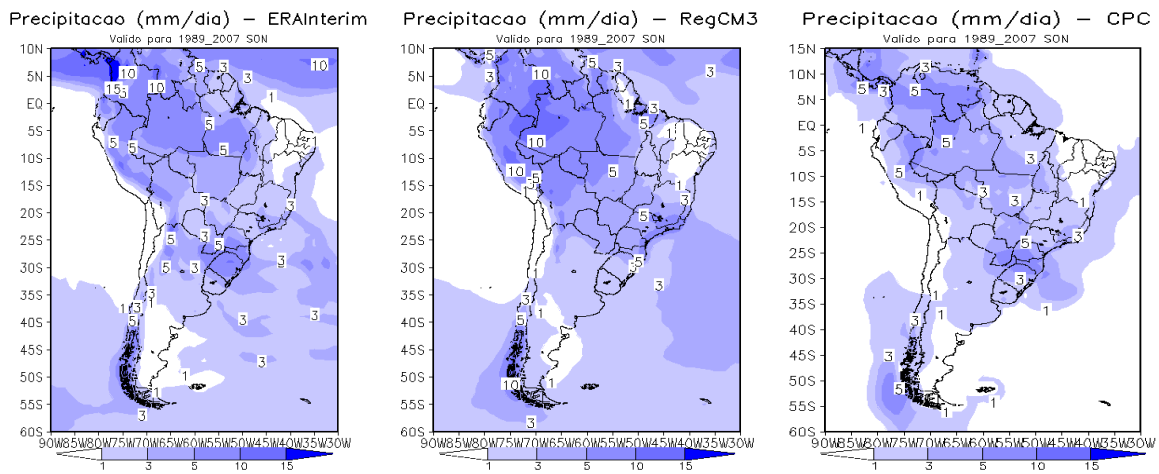


Figura11 – Climatologia da precipitação para a primavera no período entre 1989 e 2007. Na primeira coluna para os dados da reanálise ERA-Interim, na segunda coluna para os dados simulados do RegCM3 e na terceira coluna para os dados observados do CPC.

### 3.1.2 Eventos extremos chuvosos

Após a análise dos dados de precipitação, da qual se observou que o RegCM3 representa a variabilidade sazonal das chuvas sobre a América do Sul, apesar de ser um pouco mais seco, do que os dados observados, sobre partes da região de estudo, foram calculados os extremos de precipitação diária com o percentil 0.85. Os cálculos foram realizados para o ano todo e também para cada estação.

Assim como na climatologia da precipitação, no cálculo dos extremos também se observa que o RegCM3 é mais seco do que nos dados observados do CPC. Ou seja, para ser um extremo chuvoso nos dados do CPC, os índices pluviométricos devem ser maiores em relação aos dados do RegCM3. Em relação aos dados do Era-Interim, observa-se que estes representam, para a análise anual (figura 12), os extremos com valores mais altos, deslocados para a porção mais ao sul da Bacia do Rio da Prata, enquanto os dados do RegCM3 mostram uma região com valores maiores entre o centro e sul da Bacia. Já o CPC apresentam os extremos, com valores maiores bem distribuídos sobre a porção central e na metade leste da Bacia.

A estação com maior diferença é o inverno (figura 16), na qual se observa uma região com valores altos sobre a parte sul da Bacia do Rio da Prata. Nos dados do CPC e para o RegCM3, os valores são baixos. Além disso, na região norte da bacia, os valores ficam abaixo de 2mm por dia nos dados do RegCM3 e ERA-Interim, enquanto os dados do CPC apresentam valores mais elevados que chegam a aproximadamente 20mm .

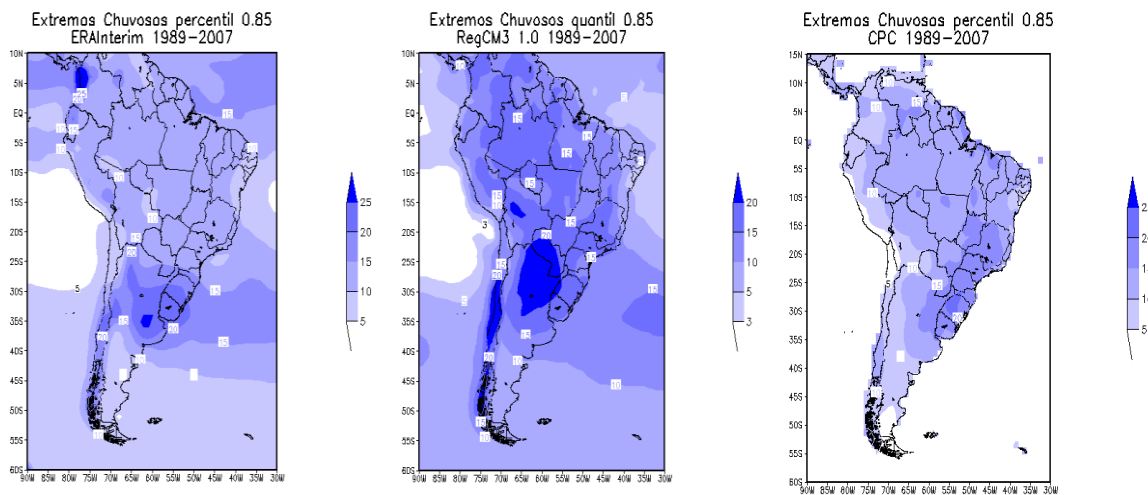


Figura 12 – Climatologia diária, de extremos chuvosos, percentil 0.85, para os dados da reanálise do ERA-Interim, dados simulados do RegCM3 e observados do CPC respectivamente, para o período de 1989 a 2007.

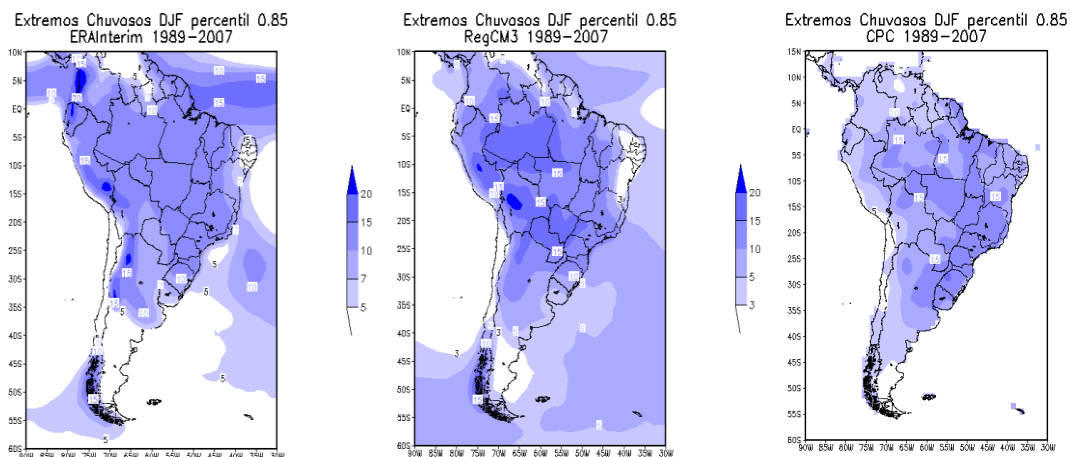


Figura 13 – Climatologia diária, de extremos chuvosos para os meses de verão(DJF), percentil 0.85, para os dados da reanálise do ERA-Interim, dados simulados do RegCM3 e observados do CPC respectivamente, para o período de 1989 a 2007.

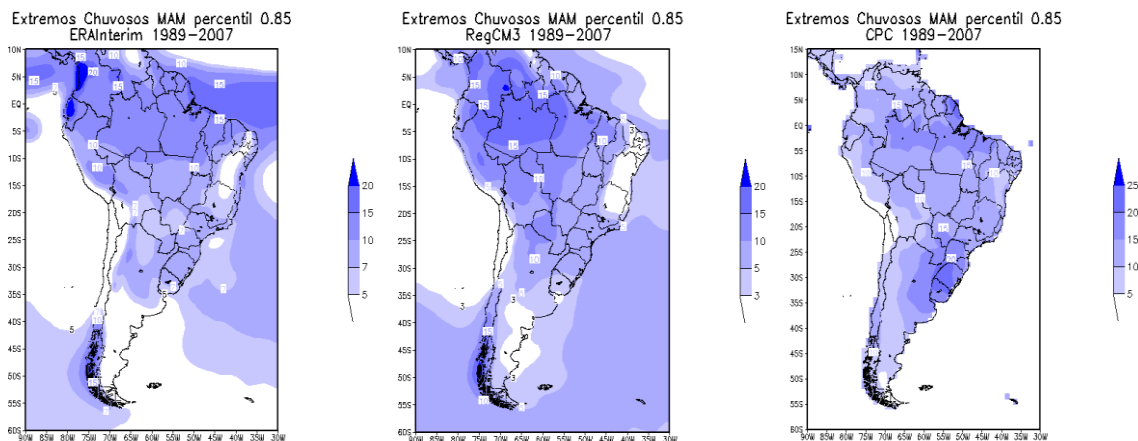


Figura 14 – Climatologia diária, de extremos chuvosos para os meses de outono (MAM) percentil 0.85, para os dados da reanálise do ERA-Interim, dados simulados do RegCM3 e observados do CPC respectivamente, para o período de 1989 a 2007.

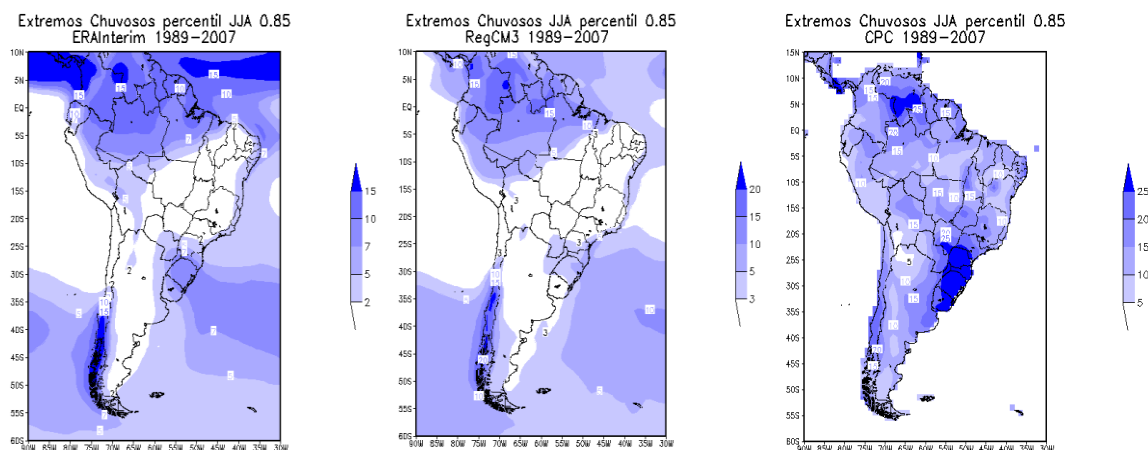


Figura 15 – Climatologia diária, de extremos chuvosos para os meses de inverno (JJA) percentil 0.85, para os dados da reanálise do ERA-Interim, dados simulados do RegCM3 e observados do CPC respectivamente, para o período de 1989 a 2007.

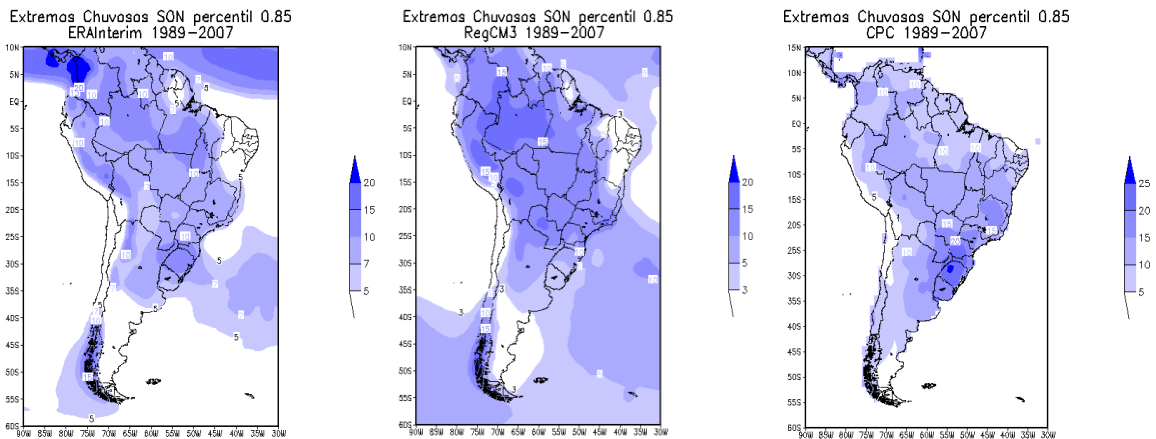


Figura 16 – Climatologia diária, de extremos chuvosos para os meses de primavera (SON) percentil 0.85, para os dados da reanálise do ERA-Interim, dados simulados do RegCM3 e observados do CPC respectivamente, para o período de 1989 a 2007.

### 3.2 Ciclones Rastreados

Foram rastreados ciclones entre os anos de 1989 e 2007. Os ciclones foram identificados quando um ponto de grade apresentou vorticidade relativa, a 10m de altura, menor do que a dos pontos vizinhos e menor ou igual um limiar pré-determinado. Foram rastreados os ciclones apenas no oceano Atlântico, na região que circunda a Bacia do Rio da Prata (20°S-45°S; 40°W-65°W), para os dados do ERA-Interim e posteriormente para os dados do RegCM3. O cálculo foi realizado somente no oceano, a fim de evitar o rastreamento de baixas térmicas formadas no continente. O rastreamento foi realizado nestes dois grupos de dados para verificar o quanto o modelo regional responde aos dados do modelo global ERA-Interim e quais as mudanças que ocorrem na simulação do RegCM3.

Inicialmente foi usado como limiar o valor de  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ . Através

deste limiar, no grupo de dados do ERA-Interim, o rastreamento de todos os ciclones ocorridos no período, identificou 846 ciclones que se formaram e atuaram na região da Bacia do Rio da Prata e nas suas proximidades. Destes eventos, 207 ocorreram no verão (dezembro a fevereiro), 192 no outono (março a maio), 197 no inverno (junho a agosto) e 250 foram na primavera (setembro a novembro).

A figura 17 mostra a distribuição mensal do número de ciclones para os dados do ERA-Interim, durante os 19 anos de análise. Observa-se que os meses com maior ocorrência destes eventos foram os de primavera. O mês de setembro apresentou 88, outubro 85 e novembro 77 eventos. Os meses que apresentaram menor número de eventos foram os de outono março e maio, com 59 e 58 eventos respectivamente, seguidos pelo mês de inverno, onde junho, apresentou 61 eventos. Além disso, na análise anual do número de ciclones (figura 18) observou-se que o ano com menor número de ciclones foi 1994, com apenas 34 eventos, que atuaram na região e o ano com maior número de ciclones foi 1992, com 53 eventos.

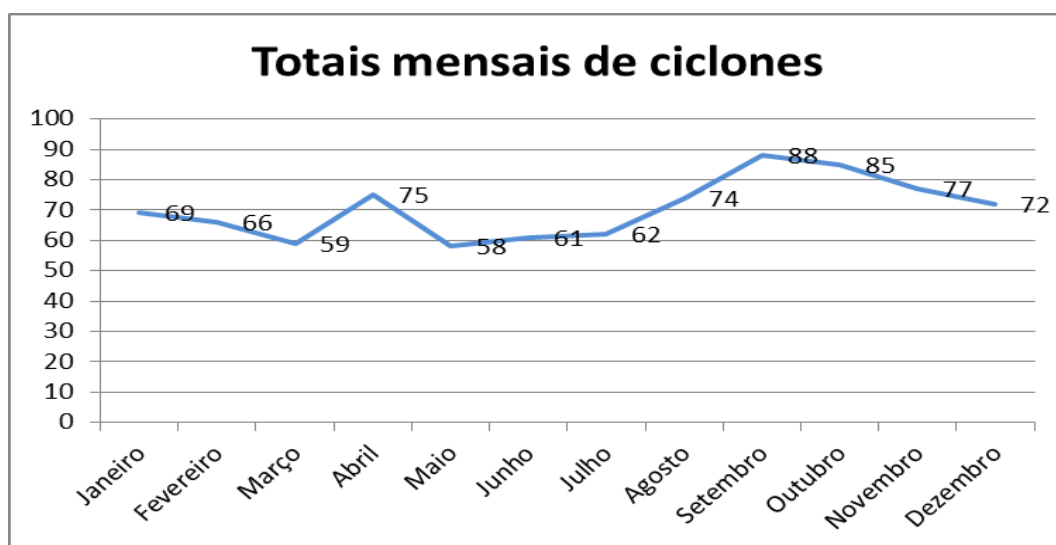


Figura 17 – Número mensal de ciclones, dos dados do ERA Interim, rastreados

entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ .

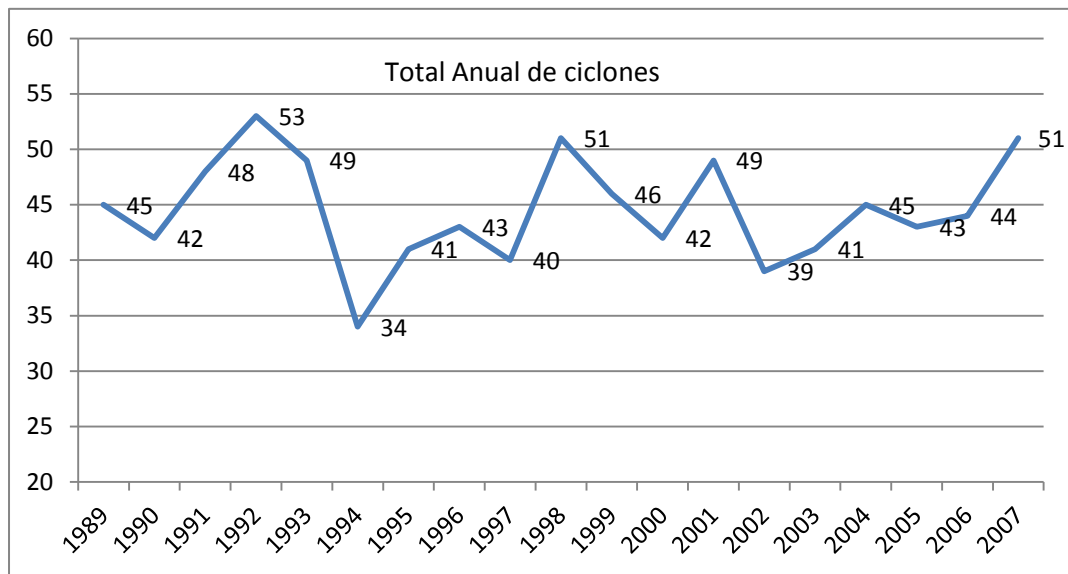


Figura 18 – Número anual de ciclones, dos dados do ERA Interim, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ .

Com o mesmo limiar de vorticidade relativa ( $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ), para os dados simulados pelo RegCM3, o rastreamento de todos os ciclones ocorridos no período identificou 853 eventos que se formaram e atuam próximo a bacia do Rio da Prata, dentro da região de análise. Entre estes, 223 ocorreram no verão (dezembro, janeiro e fevereiro), 202 se formaram no outono (Março, abril e Maio), 207 no inverno (Junho, julho e agosto) e 221 na primavera (setembro, outubro e novembro).

A figura 19 mostra a distribuição mensal dos ciclones, da qual se observa que os meses com maior número de eventos foi o mês de janeiro, no verão, que apresentou 86 eventos e outubro, na primavera, que apresentou 75 eventos. Os meses que apresentaram menor número de eventos foram os abril, no outono, com 62 eventos e junho, no inverno, com 66 eventos. Observou-se também através da análise do número de eventos em cada ano



(figura 20) que o ano com menor número de eventos foi 2001, com apenas 34. O ano que apresentou o maior número de eventos foi 1990 com 53 eventos.

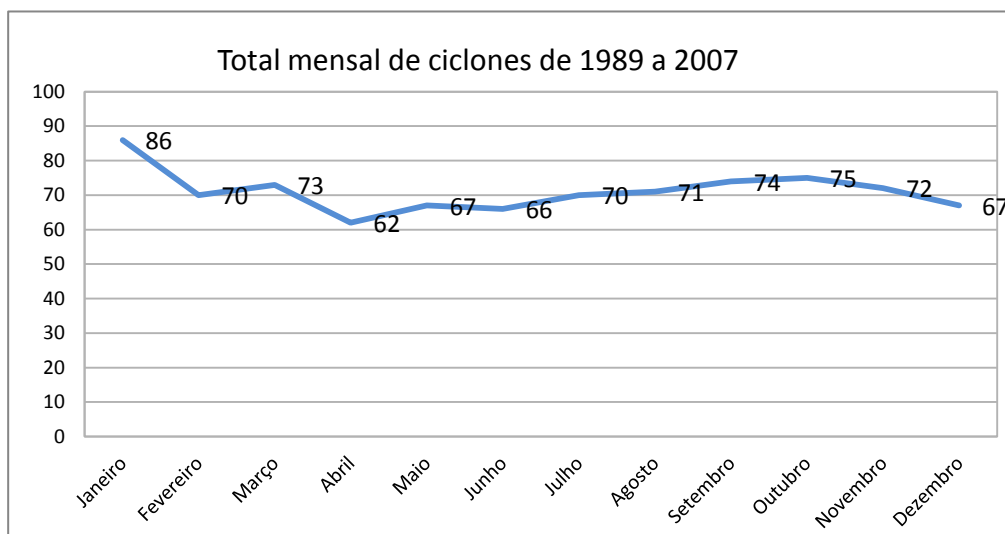


Figura 19 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do RegCM3, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .

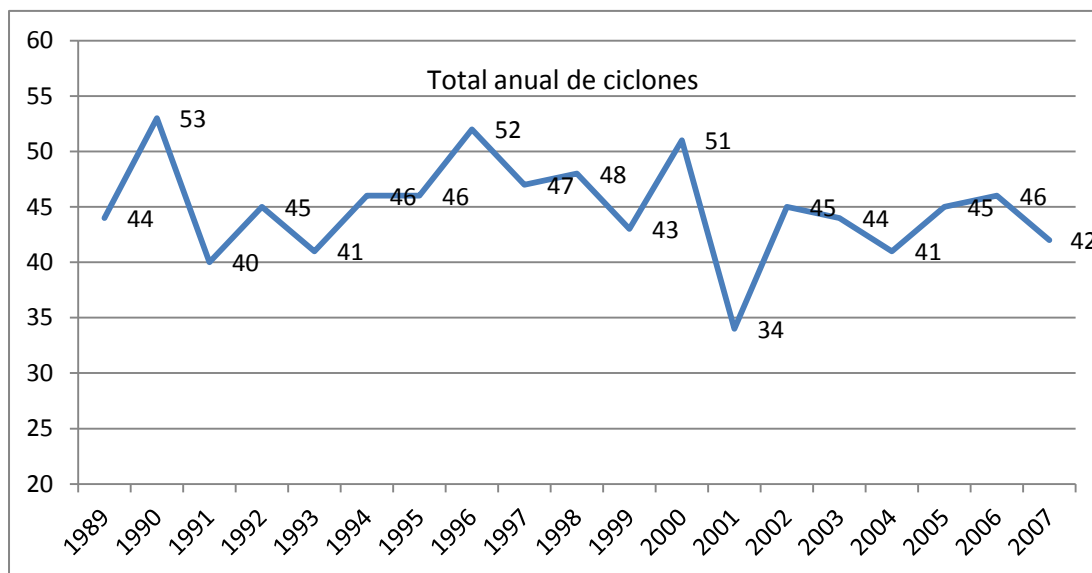


Figura 20 – Distribuição anual do número de ciclones, dos dados do RegCM3, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .

Deve ser destacado, que até o momento, com esse limiar utilizado, o

maior número de ciclones foi encontrado entre as estações de primavera e verão, contrariando alguns estudos, como de Gan e Rao (1991) que mostram a maior ocorrência destes eventos entre os meses de inverno. Como foram rastreados ciclones com vorticidade menor ou igual a  $-1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , ou seja, sistemas mais fracos, o sistema de rastreamento automático pode ter rastreado muitas perturbações nos meses de primavera e verão, com vorticidade mais baixa. Para uma análise mais aprofundada da distribuição dos ciclones e climatologia sazonal, o rastreamento foi realizado também para ciclones mais intensos, com valores de vorticidade menor ou igual a  $-2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  e também com valores menor igual a  $-3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  para verificação de sua variabilidade sazonal e distribuição.

Com o rastreamento para vorticidade menor ou igual a  $-2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , os dados do modelo global ERA-Interim apresentaram um total de 389 ciclones. Entre estes, 77 ocorreram no verão, 101 no outono, 100 no inverno e 111 na primavera.

A figura 21 mostra a distribuição mensal dos ciclones, da qual se observa que apesar da primavera ainda apresentar o maior número de eventos, o mês de abril, no outono, é o que apresenta o maior número mensal de eventos com 43 ciclones rastreados. O mês com menor número de eventos foi janeiro com apenas 20 ciclones rastreados.

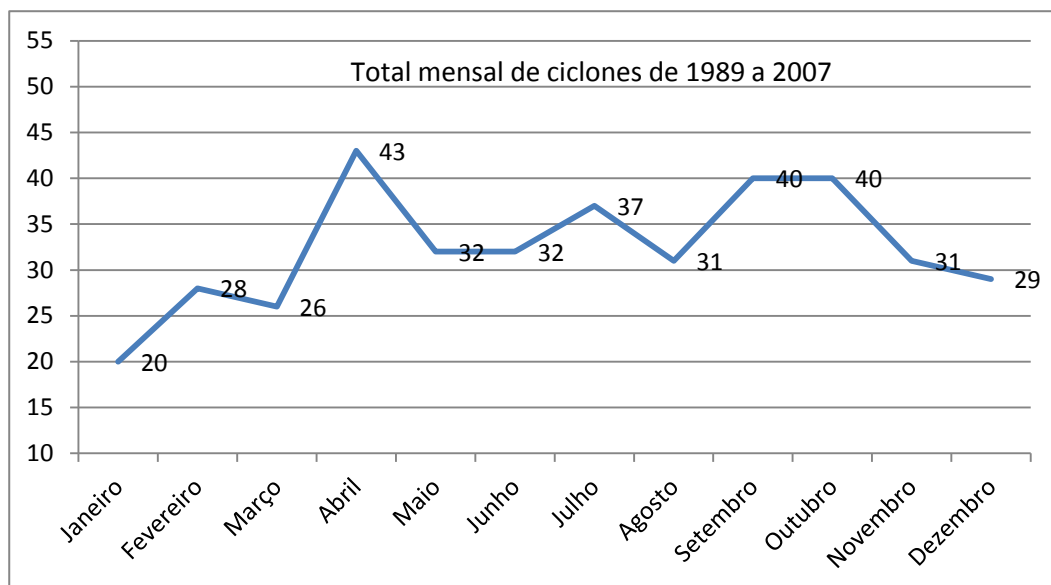


Figura 21 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do ERA-Interim, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .

Através dos dados do RegCM3, para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , foram rastreados 400 ciclones. Entre estes 104 no verão, 88 no outono, 104 no inverno e 104 na primavera.

A figura 22 mostra a distribuição mensal dos ciclones, da qual se observa que há um pouco mais de uniformidade ao longo do ano, em relação aos dados do ERA-Interim. Sendo que, os meses que apresentaram o maior número de eventos rastreados foram janeiro e junho, com 40 ciclones. Destaca-se que nos dados do ERA-Interim janeiro apresentou o menor número, com apenas 20 ou seja a metade do número de eventos encontrados no RegCM3. Já o mês com o menor número foi dezembro com apenas 26 ciclones rastreados.

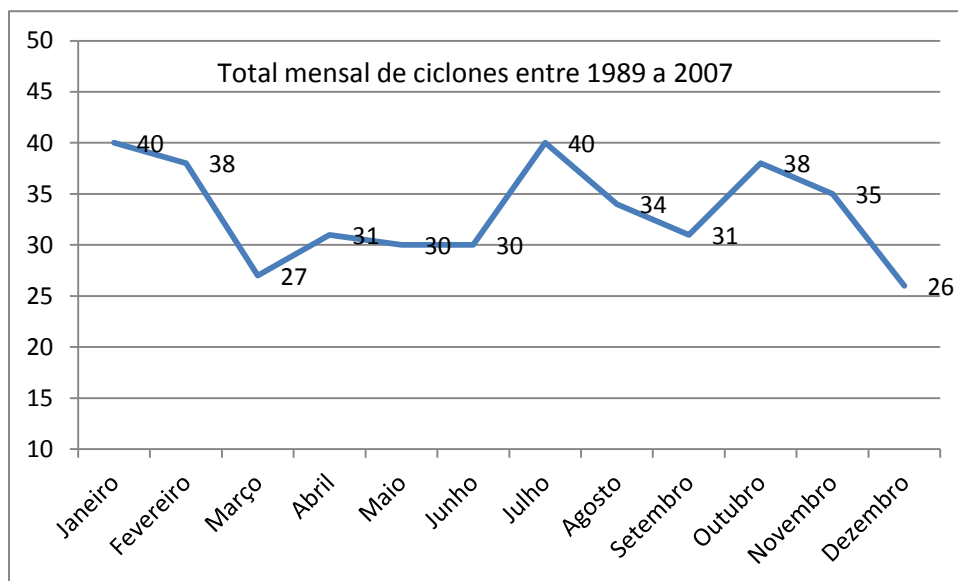


Figura 22 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do RegCM3, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .

Por último foram rastreados ciclones que tivessem vorticidade menor ou igual a  $-3,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , para os dados do modelo global ERA-Interim e para os dados do modelo regional RegCM3.

Através deste limiar, o rastreamento para os dados do ERA-Interim apresentou 281 ciclones, sendo que 58 foram no verão, 72 no outono, 79 no inverno e 72 na primavera.

A figura 23 mostra a distribuição mensal dos ciclones. Observa-se que apesar do inverno apresentar o maior número de eventos, os meses com mais ciclones rastreados foram abril com 32 e outubro com 30. Já os meses com menor número de eventos são os de verão, janeiro com apenas 18 e fevereiro com 17 ciclones rastreados.

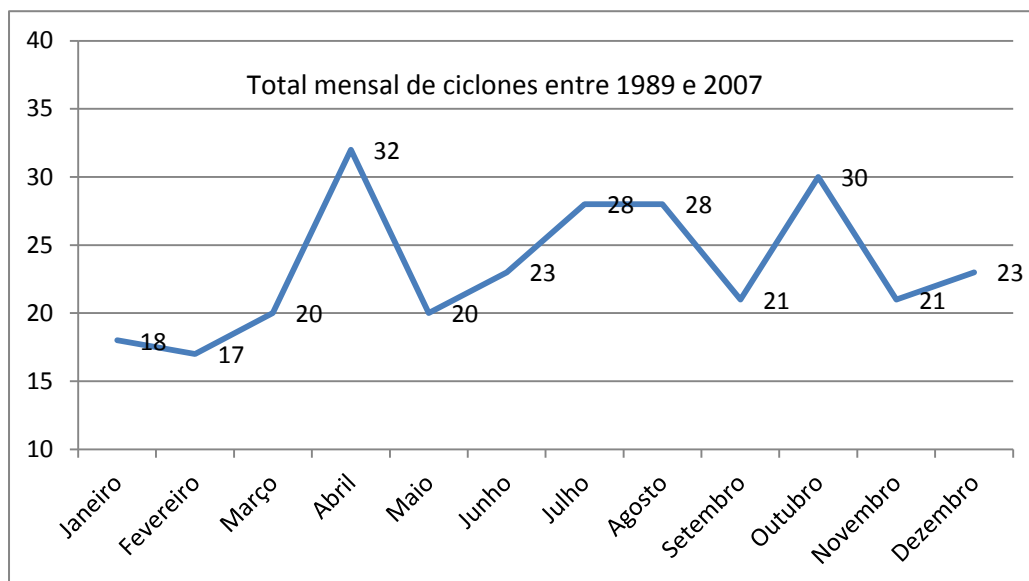


Figura 23 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do ERA-Interim, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ .

Através dos dados do RegCM3, para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , foram rastreados 267 ciclones. Entre estes 75 no verão, 54 no outono, 69 no inverno e 69 na primavera.

A figura 24 mostra a distribuição mensal dos ciclones. O mês que apresenta o maior número de eventos rastreados foi novamente janeiro com 28 ciclones e também fevereiro com 27, contrariando os resultados do ERA-Interim que mostram que estes dois meses são os que possuem o menor número de eventos rastreados. O mês com o menor número de ciclones rastreados é abril com apenas 16 ciclones.

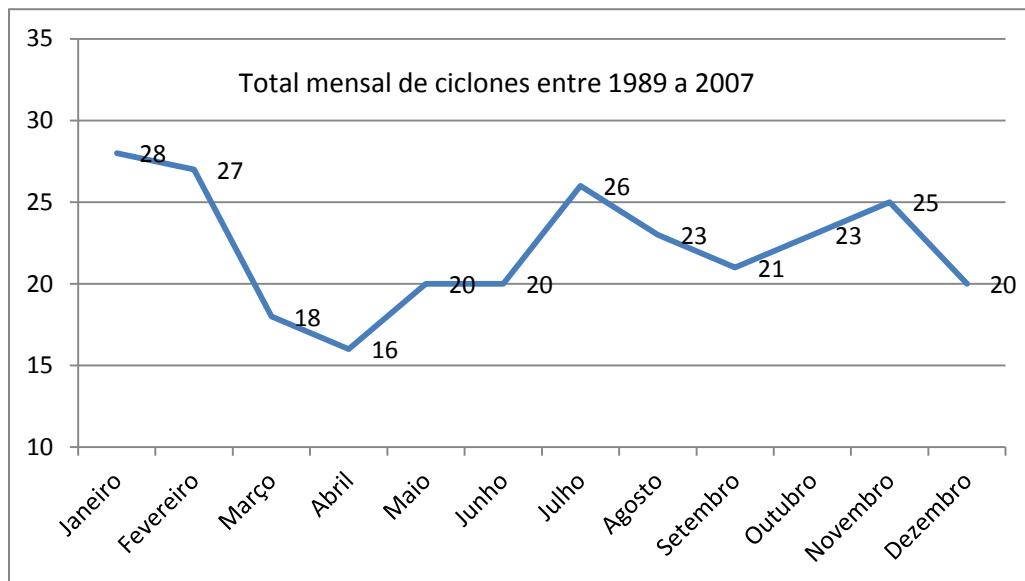


Figura 24 – Distribuição mensal do número de ciclones, dos dados do RegCM3, rastreados entre os anos de 1989 a 2007, para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .

### **3.2.1 Análise da densidade de ciclones próximos a região da Bacia do Rio da Prata**

#### **RegCM3 X Era Interim**

Após o rastreamento de todos os eventos ocorridos no período de análise, foi analisada a densidade de ciclones sobre a região de estudo, que consiste no cálculo do número de ciclones rastreados por unidade de área.

O cálculo da densidade foi realizado incluindo todos os ciclones que ocorreram no período de 1989 a 2007

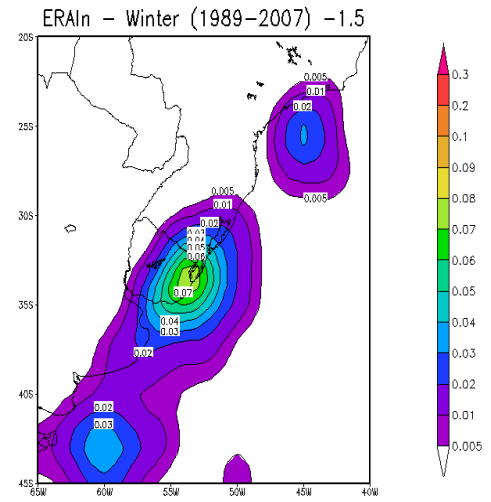
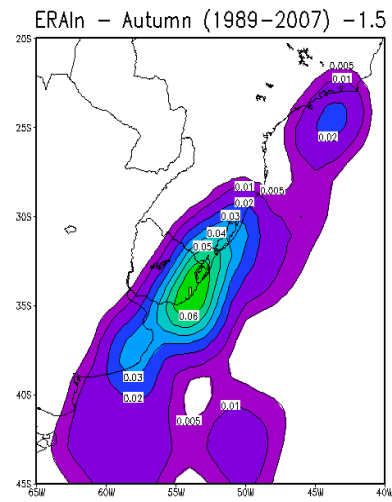
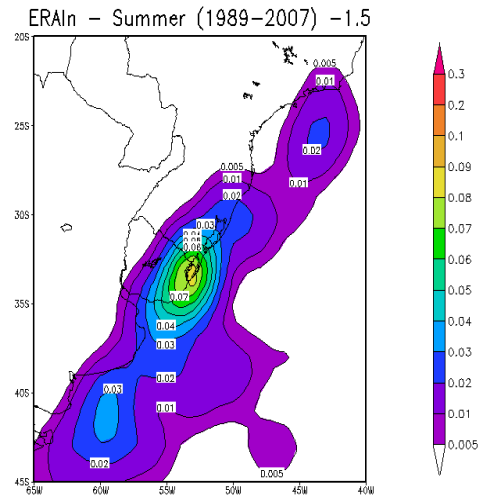
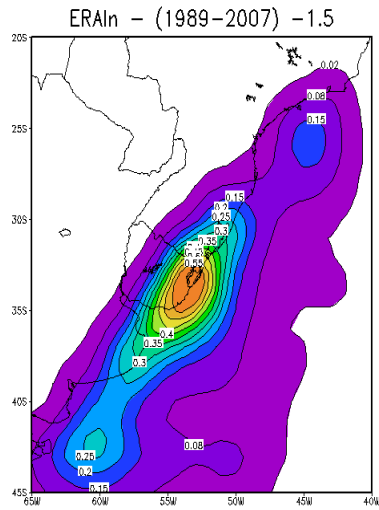
#### **ERA-Interim**

Para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , observa-se na climatologia anual (figura 25) que existem três regiões preferenciais para a ocorrência destes eventos. Uma, mais fraca, sobre a costa do Sudeste do Brasil, outra de intensidade intermediária sobre a costa sul em aproximadamente 42°S e por última uma com intensidade muito superior as duas primeiras sobre a costa entre o Uruguai e o Rio Grande do Sul.

Na análise sazonal, fica evidente em todas as estações do ano, a persistência da região mais intensa, sobre a costa entre o Uruguai e o Sul do Brasil, sendo mais intensa na estação do verão e do inverno e com menor intensidade na estação da primavera.

Já a região com intensidade intermediária, aparece com maior intensidade na estação da primavera. No entanto, na estação de outono esta região praticamente desaparece.

A região com intensidade mais fraca, sobre a costa do Sudeste do Brasil, aparece mais intensa no inverno e mais enfraquecida durante a primavera.





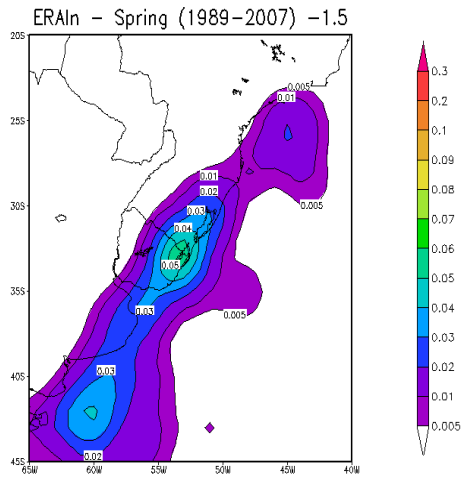
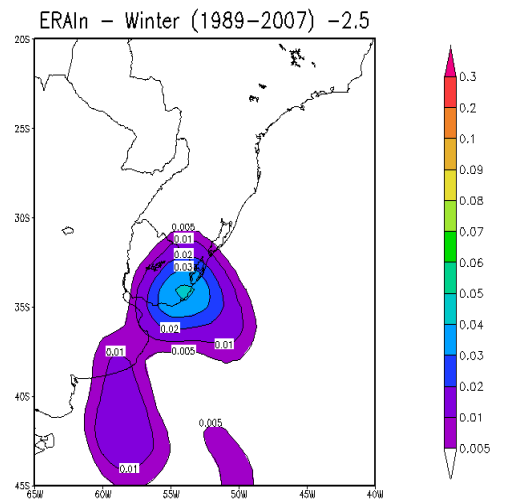
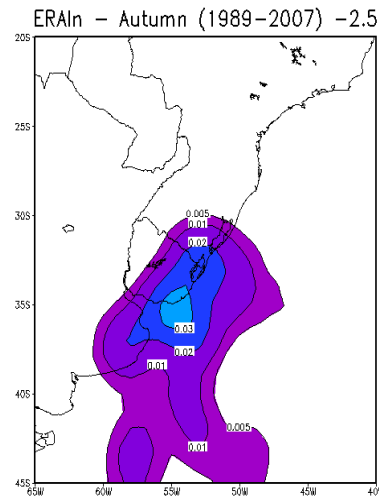
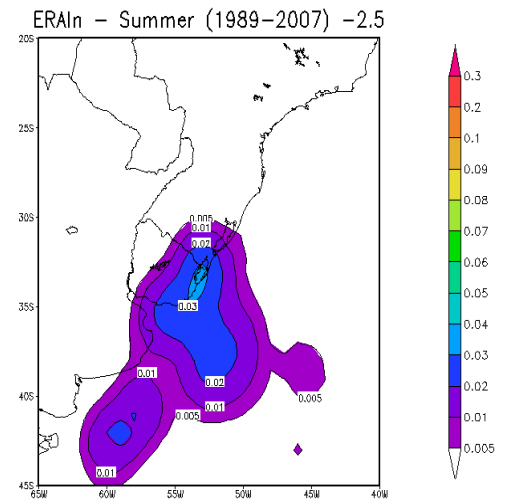
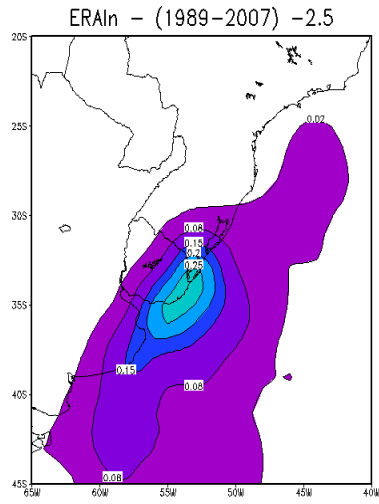


Figura 25 – Variação anual e sazonal da densidade de ciclones calculada através dos dados do ERA -Interim de 1989 a 2007, para o limiar  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ .

Para o limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , destaca-se ainda a persistência de uma região com forte densidade sobre a costa entre o Uruguai e o extremo Sul do Brasil, sendo que desta vez a região se apresenta mais intensa na estação de inverno. Além disso, destaca-se, que na análise anual as outras duas regiões que apareciam para o limiar de vorticidade mais fraco, quase desaparecem. A área com densidade sobre a costa do Sudeste do Brasil, neste caso, aparece somente nos meses de primavera. A área mais ao sul, sobre a costa sul em aproximadamente  $42^\circ\text{S}$  é mais intensa nos meses de verão e primavera.



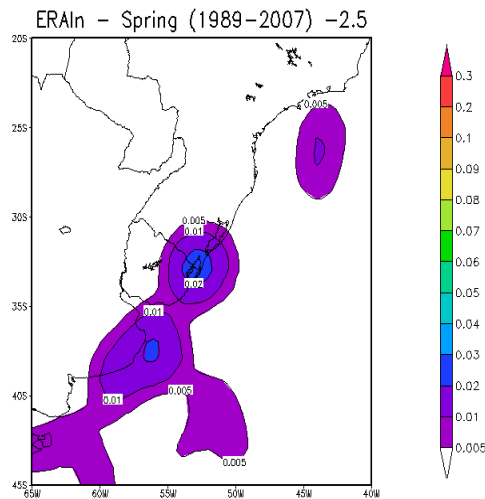


Figura 26 – Variação anual e sazonal da densidade de ciclones calculada através dos dados do ERA-Interim de 1989 a 2007, para o limiar  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ .

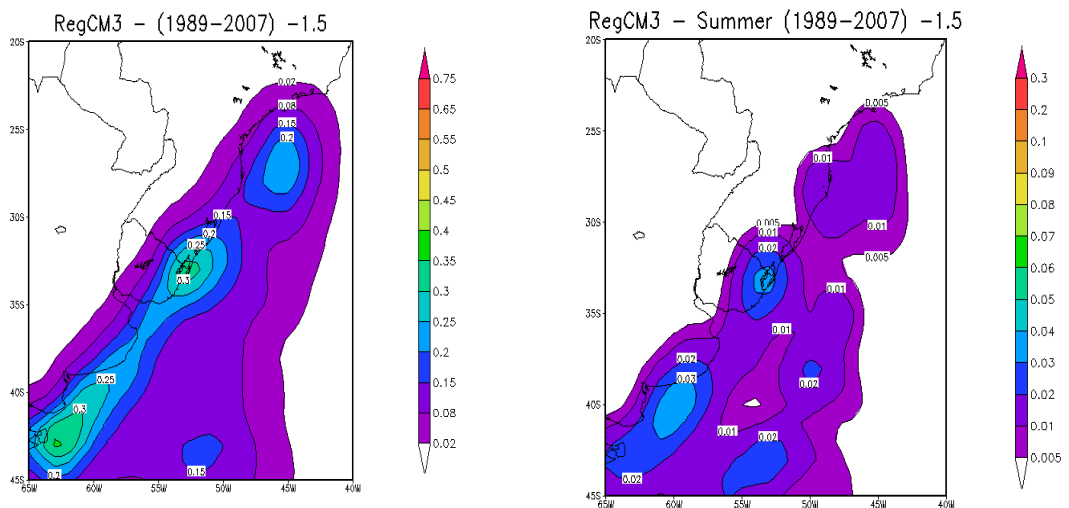
Estas mesmas análises foram feitas para o limiar  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , porém o sinal da densidade de ciclones fica cada vez mais enfraquecido, por isso não estão apresentados aqui, mas as análises estão no Anexo 1.

### RegCM3

Para o limiar  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , os dados simulados do RegCM3 representam bem as três regiões preferenciais de ocorrência de ciclones (figura 27), que aparecem nos dados do ERA Interim. Porém, observa-se que na região sobre a costa entre o Uruguai e o extremo Sul do Brasil, a intensidade é muito mais fraca em relação aos dados do ERA Interim. Nas outras duas regiões, a intensidade é um pouco mais próxima do Era Interim. Além disso, há irregularidade na intensidade de cada região, havendo uma outra região que também se destaca, porém com densidade mais fraca sobre o oceano, entre as

latitudes 50°W e 55°W e latitudes entre 40°S e 45°S. Essa região aparece na análise dos dados da Era-Interim, mas com intensidade mais fraca.

Na análise sazonal, observa-se que no verão, a região que aparece com maior densidade é a localizada entre a costa do Uruguai e do Rio Grande do Sul. No outono observa-se maior densidade sobre a costa sul em aproximadamente 42°S. Nos meses de inverno e primavera observa-se também a persistência deste núcleo mais forte, sendo que no inverno as outras duas regiões, mais ao norte, também são bem visíveis.



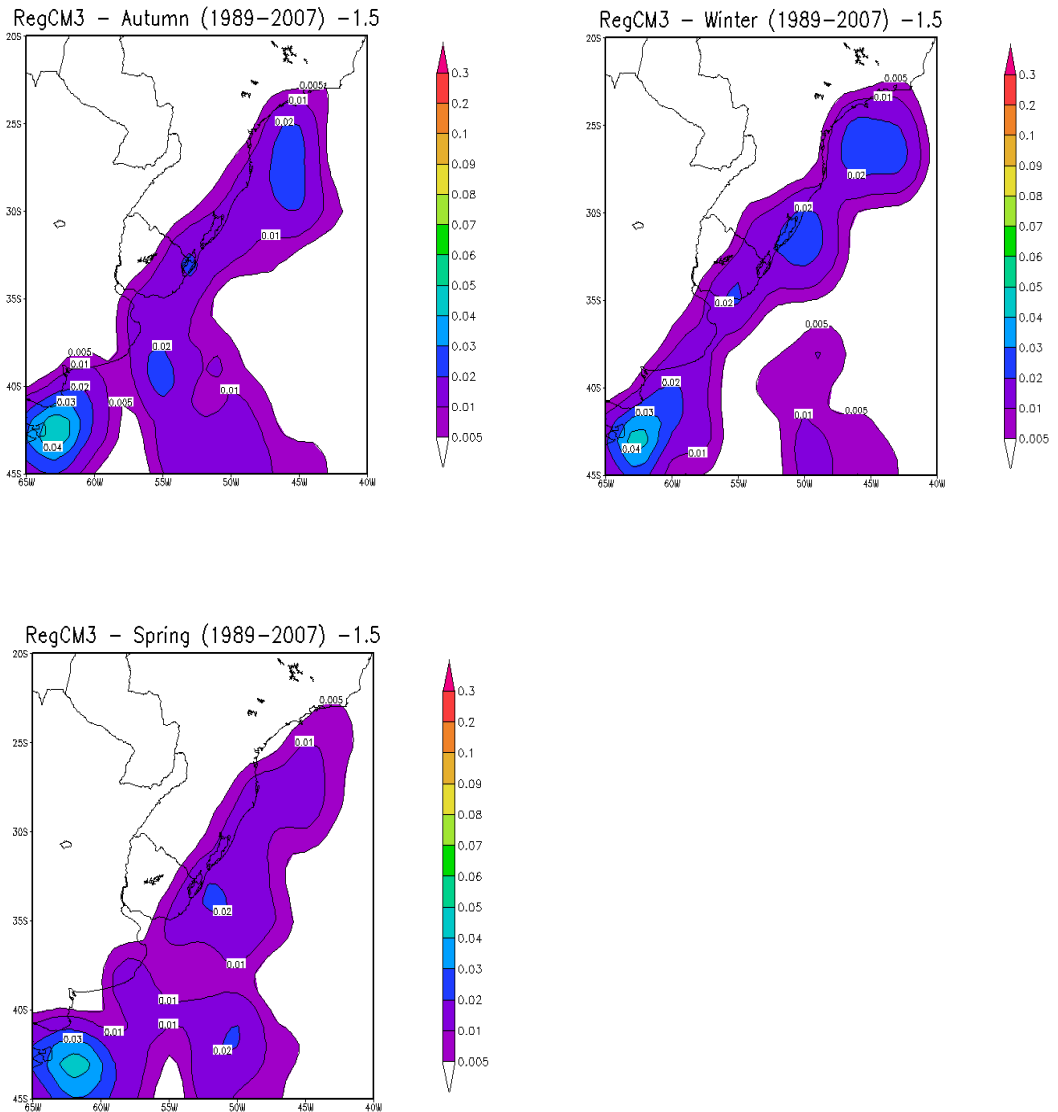
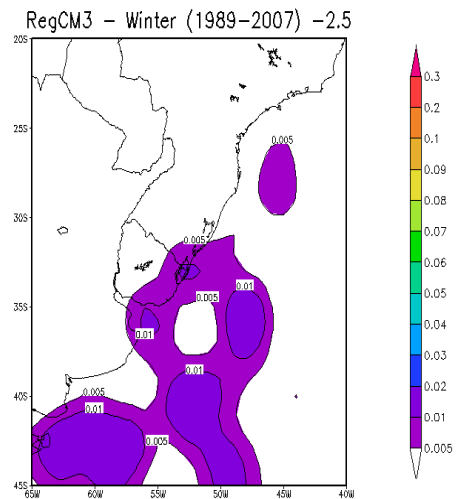
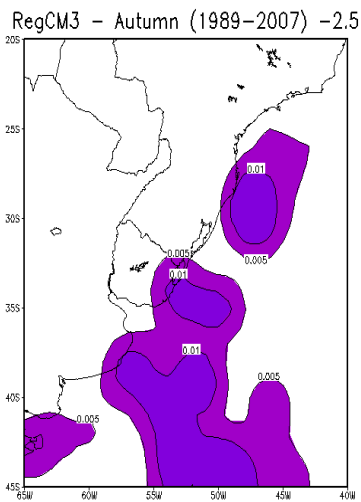
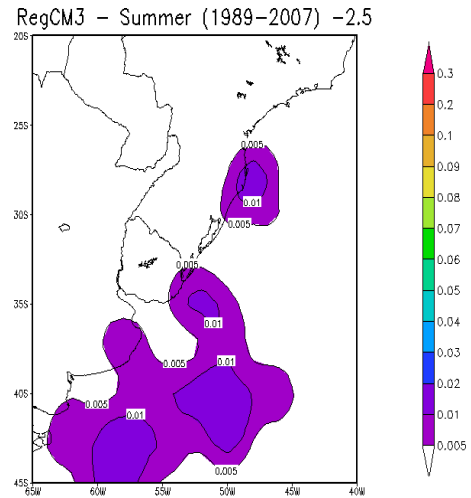
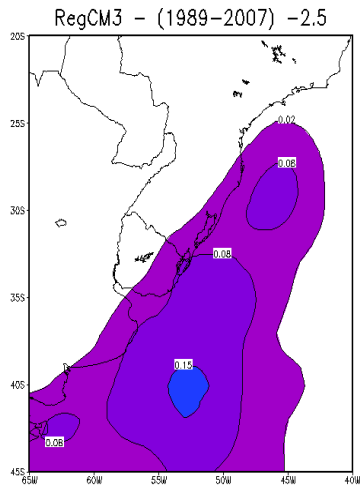


Figura 27 – Variação anual e sazonal da densidade de ciclones calculada através dos dados do RegCM3 de 1989 a 2007, para o limiar  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

Para o limiar de  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ , os dados do RegCM3 apresentam uma enfraquecimento nas três principais regiões(figura 28). No entanto, o que chama mais a atenção é a região sobre a costa sul, em aproximadamente 42°S, menos intensa e a região entre a costa do Uruguai e a costa do extremo

Sul do Brasil, mais destacada. Além disso a região que se sobressaía sobre a costa do Sudeste, recua mais para o sul e fica mais evidente nos meses de outono e verão.



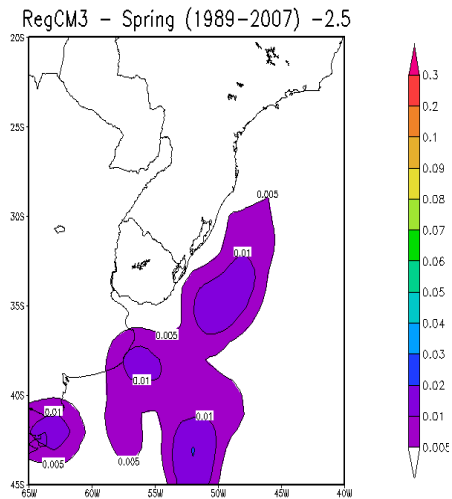


Figura 28 – Variação anual e sazonal da densidade de ciclones calculada através dos dados do RegCM3 de 1989 a 2007, para o limiar  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ .

Estas mesmas análises foram feitas para o limiar  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , porém o sinal da densidade de ciclones fica muito fraco, por isso não estão apresentados aqui, mas as figuras podem ser encontradas no Anexo 2.

### **3.3 Ciclones extratropicais associados a ocorrência de eventos extremos chuvosos sobre a Bacia do Rio da Prata**

Para o período entre 1989 a 2007, foram analisados todos os eventos, de ciclones que ocorreram no período e comparados com a precipitação sobre a bacia do Rio da Prata durante a atuação de cada evento.

Para cada evento, a climatologia de extremos foi subtraída das chuvas diárias registradas. Através desta subtração obteve-se a quantidade de chuva que excedeu o percentil de 0.85, para a região. Nos dias em que as chuvas excederam o percentil de 0.85, foi considerado que houve extremo chuvoso. Após o registro do extremo, foi realizada a análise para ver se estes eventos poderiam estar associados ao ciclone que atuou na região, conforme descrito na metodologia.

Foram selecionados todos os eventos em que os extremos chuvosos ocorreram no mesmo período de atuação de um ciclone e também que estivessem na mesma região de atuação ou que por meio de circulação atmosférica poderiam estar associados ao sistema.



### 3.3.1 Distribuição mensal, sazonal e número de ciclones relacionados a eventos extremos chuvosos

Através da análise separada de cada evento, foi obtida a distribuição mensal e sazonal dos ciclones que podem ter ocasionado eventos extremos chuvosos e a estação do ano com maior número de ocorrência destes eventos. Essa distribuição está na tabela abaixo para os dados do ERA-Interim e do RegCM3.

Tabela 1 – Número de ciclones rastreados, nos dados do ERA-Interim para os limiares de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ ,  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$  e  $\zeta_{10} \leq -3 \times 10^{-5} s^{-1}$ . Análise sazonal e relação percentual com eventos extremos chuvosos sobre a região da Bacia do Rio da Prata.

Número de ciclones	$\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$	$\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$	$\zeta_{10} \leq -3 \times 10^{-5} s^{-1}$
TOTAL	846	323	281
Com extremos	564(67%)	259(80%)	185(66%)
PRIMAVERA	250	111	72
Com extremos	177(71%)	79(71%)	49(68%)
VERÃO	207	77	58
Com extremos	143(69%)	49(64%)	36(62%)
INVERNO	192	100	79
Com extremos	125(65%)	67(67%)	55(70%)
OUTONO	197	101	72
Com extremos	119(60%)	64(63%)	45(62%)

Tabela 2 – Número de ciclones rastreados, nos dados do **RegCM3** para os limiares de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ ,  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$  e

$\zeta_{10} \leq -3 \times 10^{-5} s^{-1}$ . Análise sazonal e relação percentual com eventos extremos chuvosos sobre a região da Bacia do Rio da Prata.

Número de ciclones	$\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$	$\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$	$\zeta_{10} \leq -3 \times 10^{-5} s^{-1}$
TOTAL	853	400	267
Com extremos	581(68%)	303(76%)	198(74%)
PRIMAVERA	221	104	69
Com extremos	157(71%)	80( 77%)	54(78%)
VERÃO	223	104	75
Com extremos	179(80 %)	94(90 %)	65(86%)
INVERNO	207	104	69
Com extremos	119(57%)	62(60%)	38(55%)
OUTONO	202	88	54
Com extremos	126(62 %)	67(76%)	41(76%)

Através dos resultados obtidos observou-se que os ciclones rastreados com o limiar  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ , são os que representam a maior porcentagem de correspondência com eventos extremos chuvas, tanto para os dados da reanálise do ERA-Interim, como para os dados do modelo regional RegCM3. Exceção para os meses de inverno do ERA-Interim e primavera no RegCM3, que apresentam uma maior porcentagem para o limiar  $\zeta_{10} \leq -3 \times 10^{-5} s^{-1}$ . Além disso, observa-se que, para os eventos rastreados na ERA-Interim, em meses de primavera, os ciclones apresentam uma maior relação com eventos extremos e para os eventos rastreados nos dados do RegCM3, em meses de verão, os ciclones apresentam uma maior relação com eventos extremos.

Este resultado pode estar relacionado ao fato de que as estação verão e primavera são as mais chuvosas sobre grande parte da América do Sul,

inclusive sobre a região da Bacia do Rio da Prata.

A exceção fica para o limiar de  $\zeta_{10} \leq -3 \times 10^{-5} s^{-1}$  nos dados do ERA-Interim, onde os eventos rastreados no inverno apresentam uma maior relação com eventos extremos.

A seguir são mostradas análises gráficas da distribuição mensal do percentual de ciclones que podem estar associados a eventos extremos de precipitação.

#### ERA-Interim

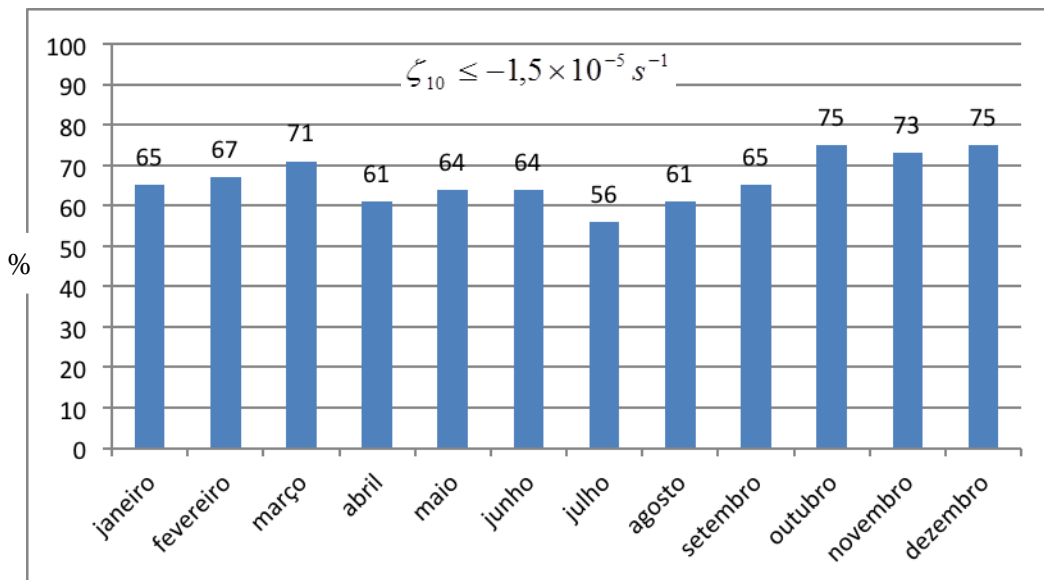


Figura 29 – percentual de eventos relacionados a eventos extremos de precipitação para os eventos rastreados nos dados do ERA-Interim, com limiar de  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

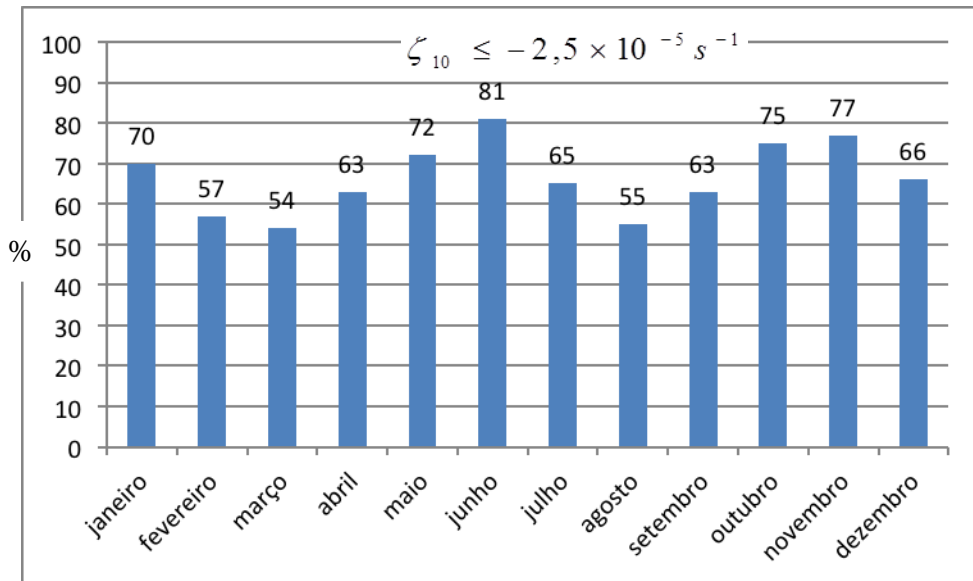


Figura 30 – Idem a figura 27, mas com limiar de  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

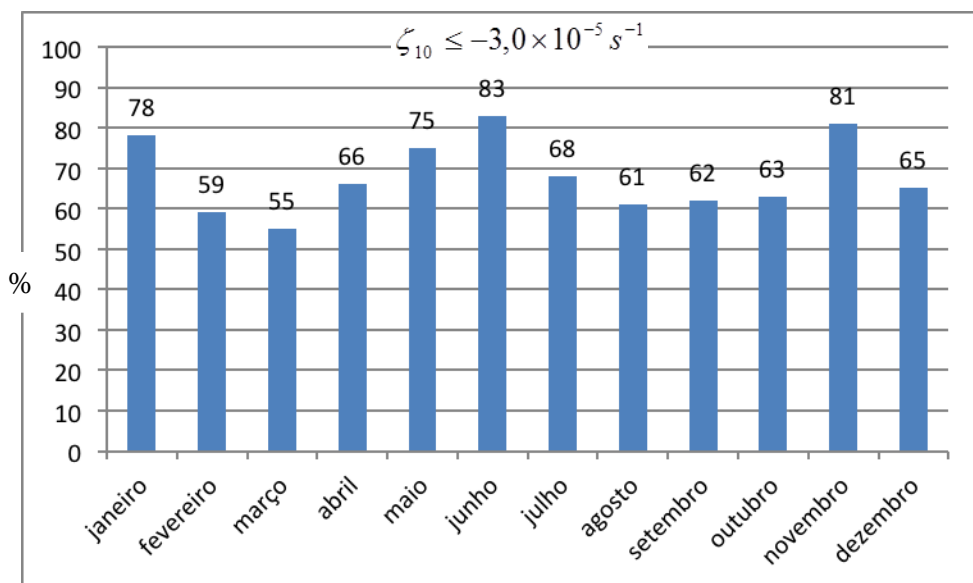


Figura 31 – Idem a figura 27, mas com limiar de  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

Desta análise observa-se que para os ciclones mais intensos aumenta a relação de ciclones com eventos extremos de precipitação para o mês de junho no inverno. Para os ciclones mais intensos, o mês, que apresentou a menor porcentagem relacionada a eventos extremos chuvosos, foi fevereiro.

### RegCM3

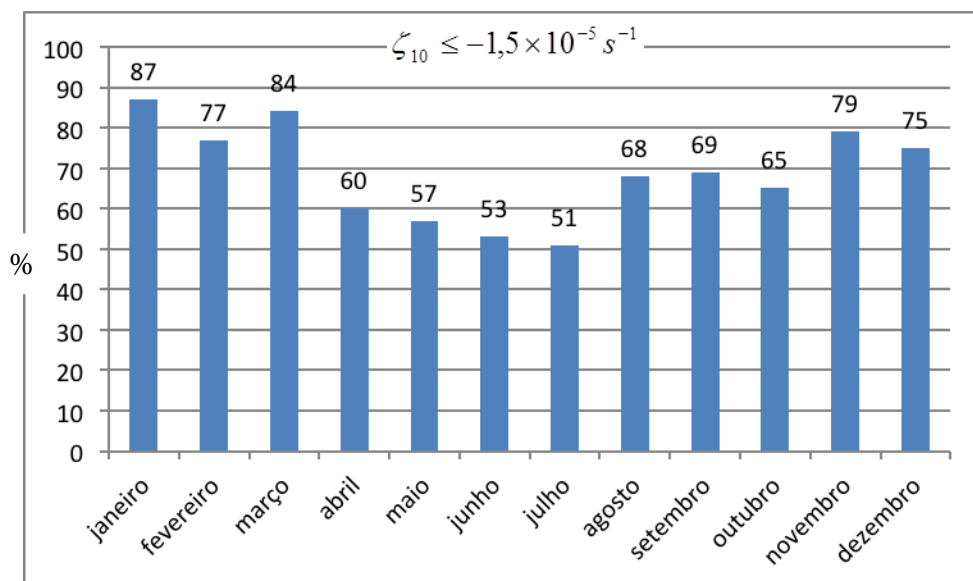


Figura 32 – Percentual de eventos relacionados a eventos extremos de precipitação para os eventos rastreados nos dados do RegCM3, com limiar de  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

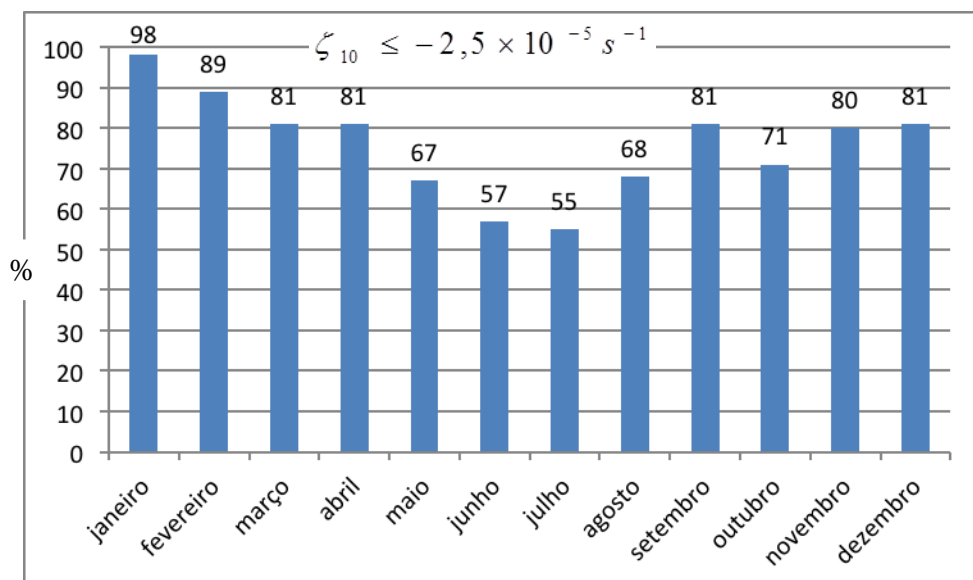


Figura 33 – Idem a figura 30, mas com limiar de  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

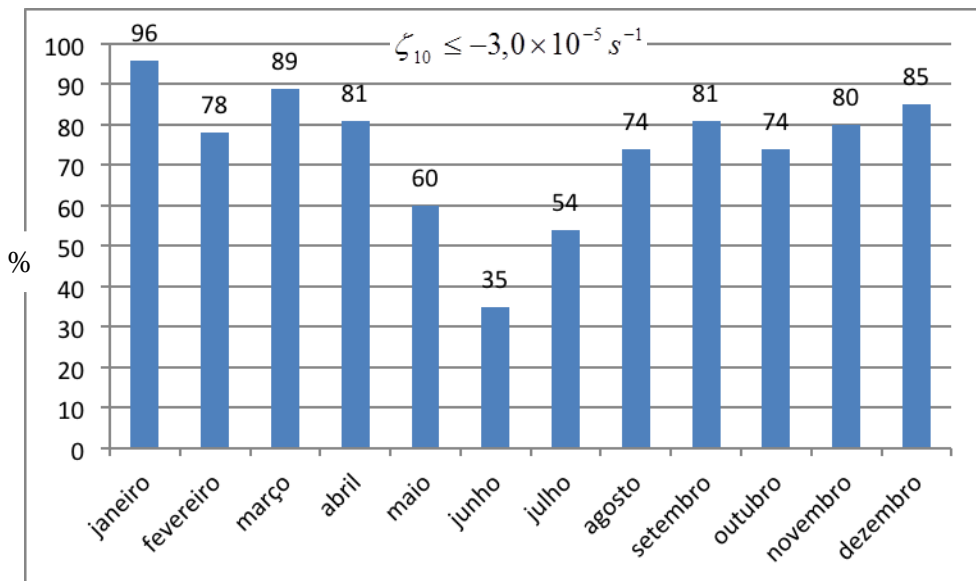


Figura 34 – Idem a figura 30, mas com limiar de  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

Nesta análise fica claro que os meses de inverno são os que representam uma menor número de ciclones relacionados a eventos extremos de precipitação, sendo que para o maior limiar,  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ , a relação é ainda menor. O mês que apresenta a menor relação é junho, diferente dos resultados do ERA-Interim, que se mostra mais chuvoso para este mês, com maior número de extremos. Já os meses que possuem uma maior porcentagem de ciclones associados a eventos extremos chuvosos são os do verão, liderados pelo mês de janeiro que tem a maior porcentagem.

### 3.3.2 Regiões preferenciais de ocorrência de extremos chuvosos que podem estar relacionados à ocorrência de Ciclones

Após a análise de todos os eventos ocorridos no período, foram selecionados os ciclones que possivelmente ocasionaram eventos extremos chuvosos sobre a região de estudo. Foram geradas climatologias da densidade de ciclones para verificar as regiões preferenciais de formação e atuação destes sistemas que são responsáveis por chuvas intensas, consideradas

extremos de precipitação. As médias climatológicas foram feitas para o período anual e para cada estação do ano para os dados da reanálise do ERA-Interim e para os dados simulados do RegCM3.

Foram separados os ciclones, em que no mesmo período de ocorrência dos eventos, houve registros de extremos chuvosos sobre a região da Bacia do Rio da Prata e que podem estar relacionados aos mesmos. A partir desta análise foi calculada a densidade, anual e também sazonal, somente para os eventos que podem estar relacionados aos extremos de precipitação e obteve-se uma nova distribuição de densidade. Foram calculadas, também, as médias dos eventos extremos chuvosos que ocorreram durante a atuação dos ciclones. As figuras de densidade e extremos chuvosos encontram-se lado a lado para a climatologia anual e para cada estação.

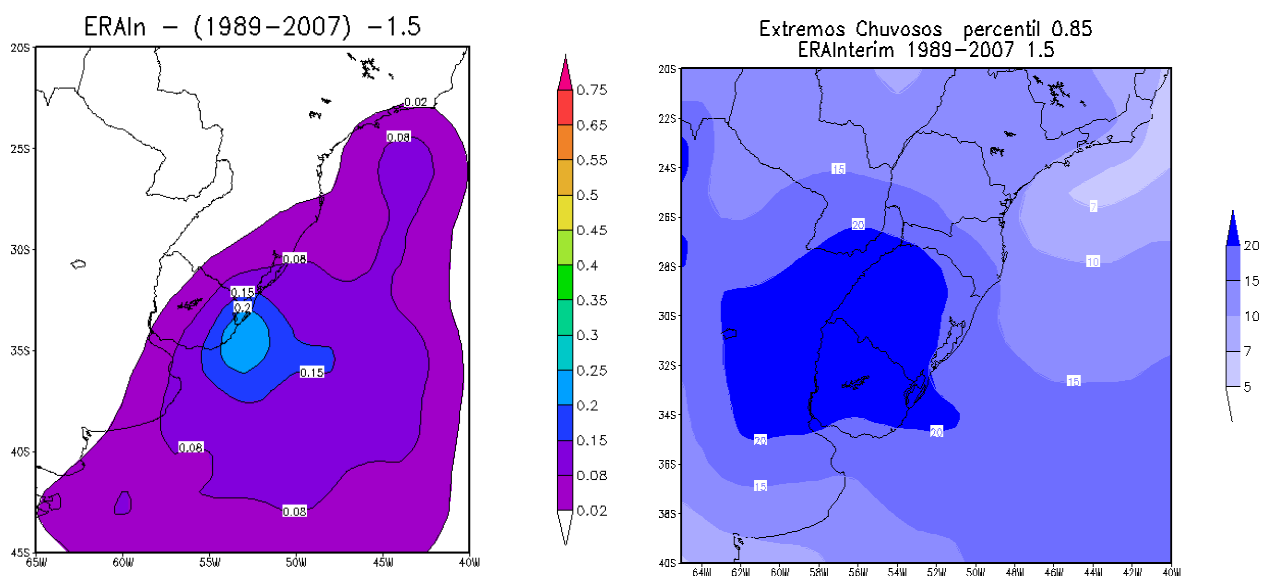
### **Resultados ERA Interim**

Em relação à densidade do total de ciclones, observa-se que na densidade de ciclones relacionados a extremos chuvosos (figura 35), o núcleo com maior densidade sobre a costa entre o Uruguai e o Rio Grande do Sul, persiste tanto na climatologia anual, quanto na sazonal, sendo mais intensa nos meses de verão e de outono.

O que chama mais a atenção é a distribuição da densidade, que desta vez apresenta-se abrangendo uma região maior sobre o oceano Atlântico e não tão concentrada próxima à costa como na densidade total de ciclones. Inclusive, nas estações de outono e inverno aparecem dois núcleos com maior intensidade, afastados da costa, sobre o oceano, um na altura da costa norte da Argentina e outro na altura da costa entre Uruguai e o Rio Grande do Sul.

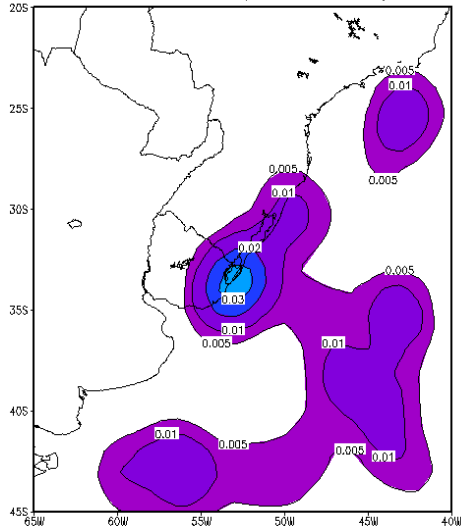
Durante a primavera observa-se que a região que ganha mais intensidade é sobre a costa do Sudeste do Brasil. Essa região aparece intensa também durante o outono.

Em relação aos extremos chuvosos, eles respondem a região com forte intensidade de densidade na costa entre o Uruguai e o Rio Grande do Sul. Entre as estações de verão e outono, os maiores valores de extremos ficam concentrados no sul da Bacia do Rio da Prata. Já no inverno e também na primavera, os extremos mais intensos abrangem uma região maior da Bacia e atingem a porção mais central. Na primavera esse aumento da região de abrangência pode ser relacionado à maior intensidade da densidade na costa do Sudeste.

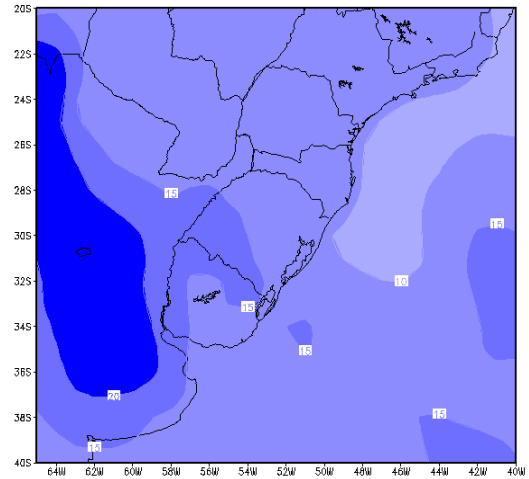




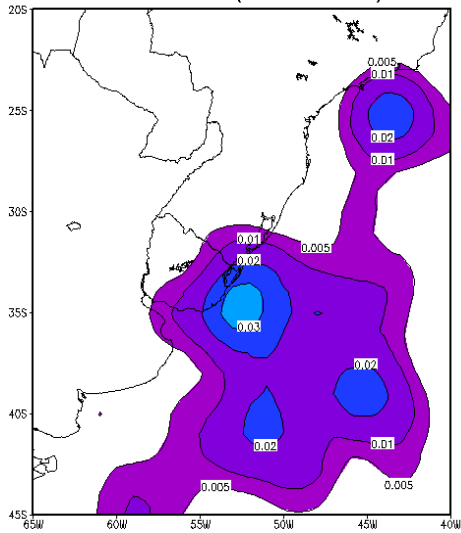
ERAIn - Summer (1989-2007) -1.5



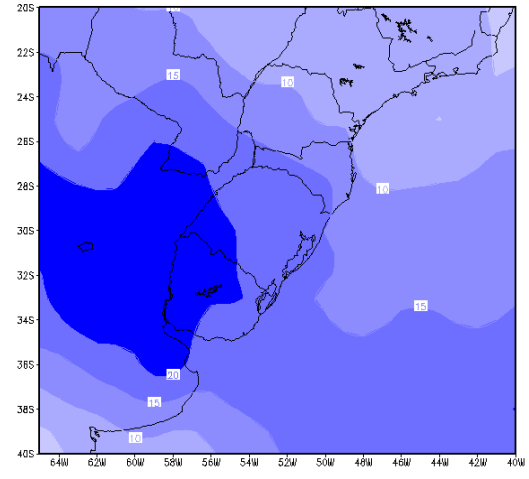
Extremos Chuvosos DJF percentil 0.85  
ERAInterim 1989-2007 1.5



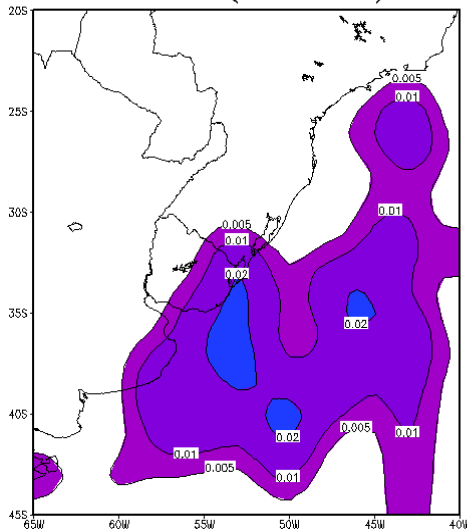
ERAIn - Autumn (1989-2007) -1.5



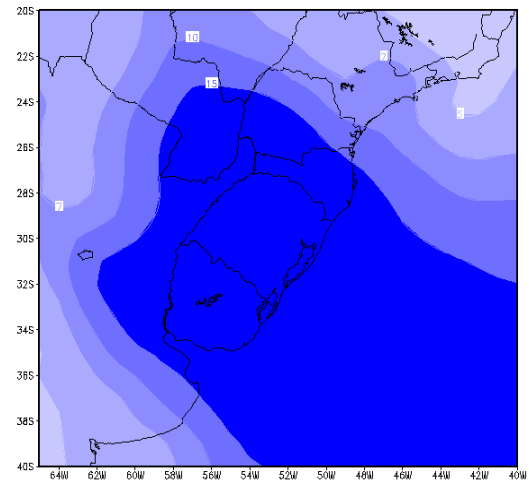
Extremos Chuvosos MAM percentil 0.85  
ERAInterim 1989-2007 1.5



ERAIn - Winter (1989-2007) -1.5



Extremos Chuvosos percentil JJA 0.85  
ERAInterim 1989-2007 1.5



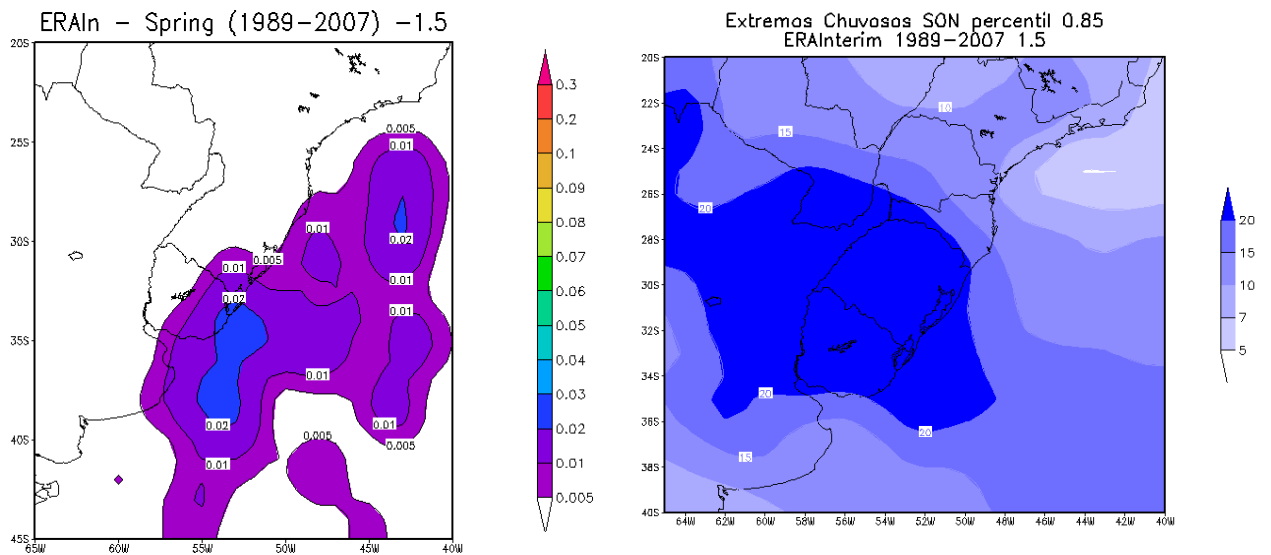
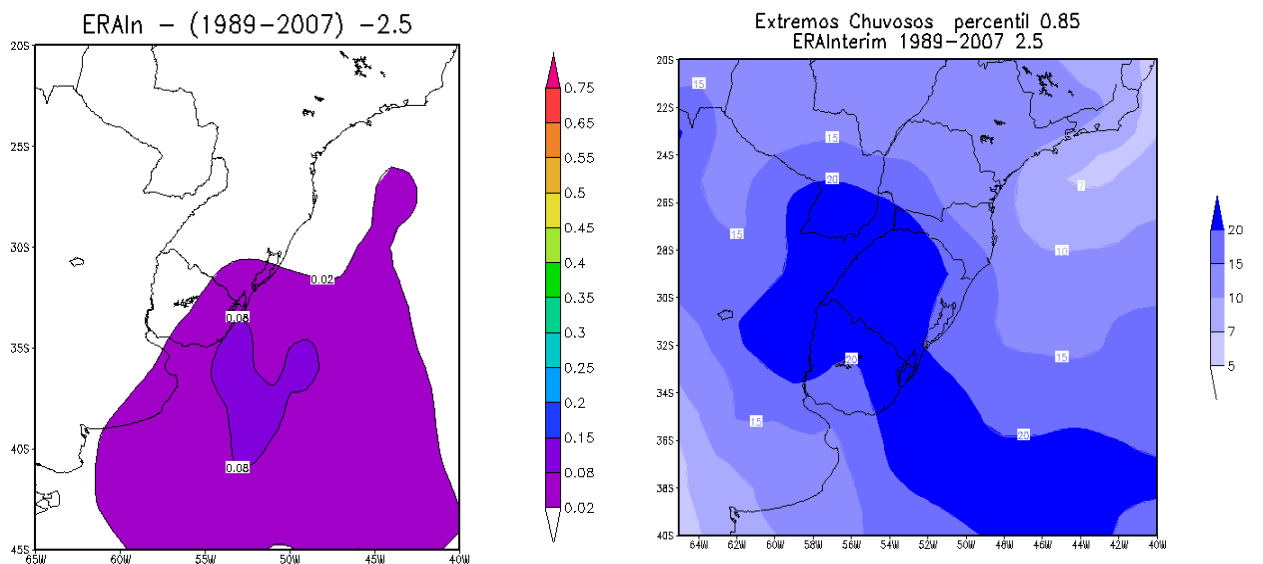
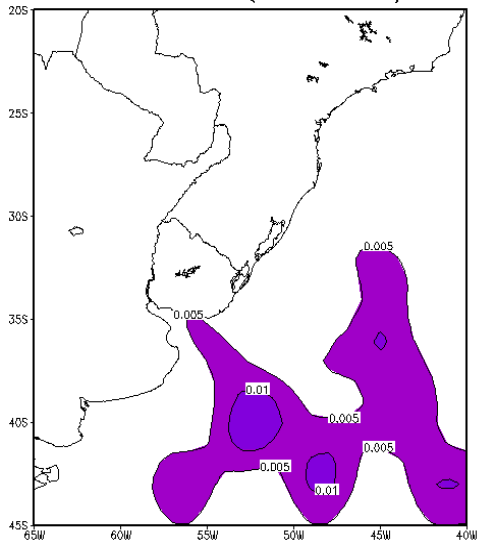


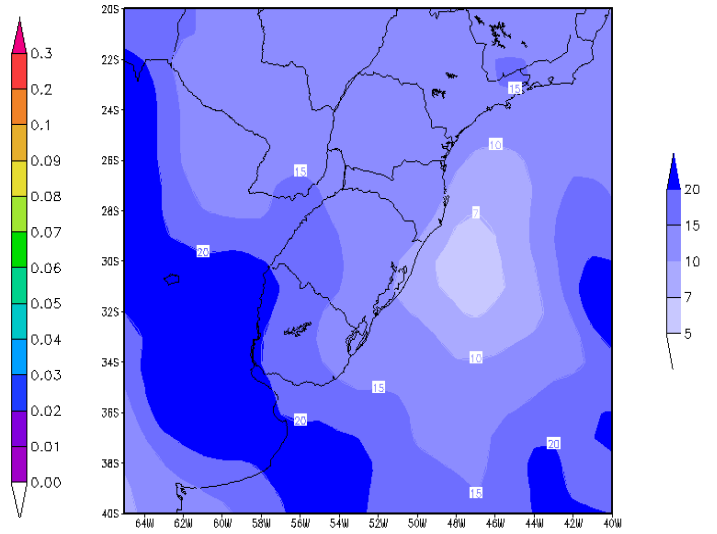
Figura 35 – Densidade de ciclones relacionados a eventos extremos chuvosos e média dos respectivos eventos extremos, calculados através dos dados da reanálise do ERA Interim, de 1989 a 2007. Limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .



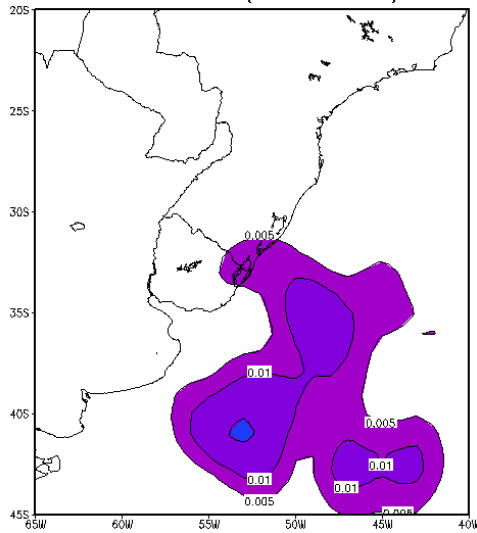
ERAIn - Summer (1989-2007) -2.5



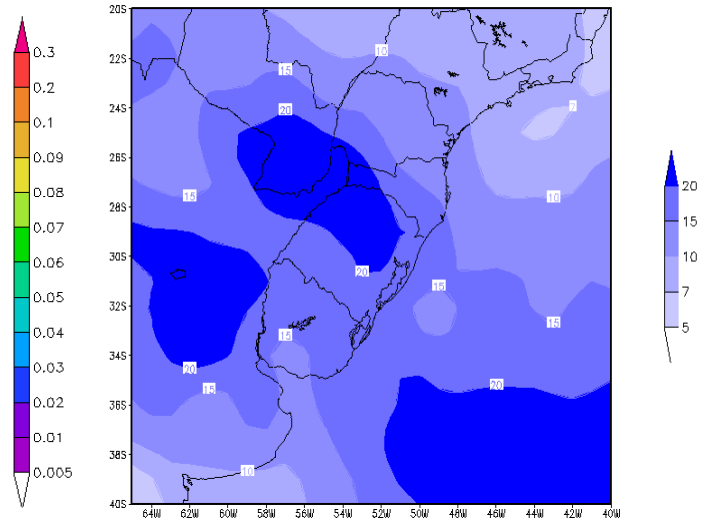
Extremos Chuvosos DJF percentil 0.85  
ERAInterim 1989-2007 2.5



ERAIn - Autumn (1989-2007) -2.5



Extremos Chuvosos MAM percentil 0.85  
ERAInterim 1989-2007 2.5



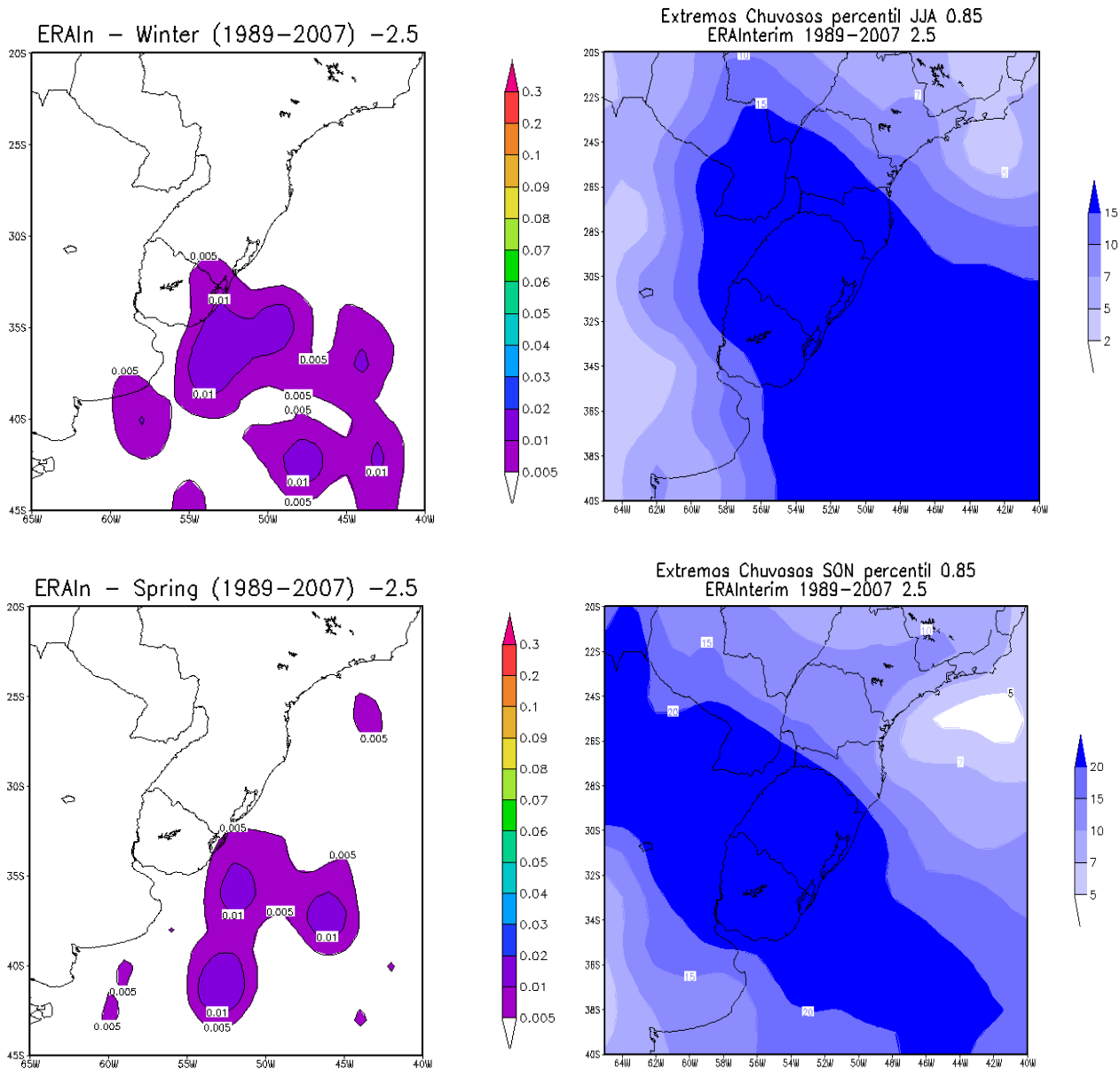


Figura 36 – Idem a figura 35, mas com limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

Estas mesmas análises foram feitas para o limiar  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ , porém o sinal da densidade de ciclones fica muito fraco, por isso não estão apresentados aqui, mas as figuras podem ser encontradas no Anexo 3.

### **Resultados do RegCM3**

Observa-se na figura 37, que em relação à densidade anual total de ciclones, o núcleo mais intenso que apareceu sobre a costa leste da Argentina, na figura 27, diminuiu consideravelmente, sendo que nesta ainda aparecem os dois núcleos mais ao norte, um entre a costa do Uruguai e do Rio Grande do Sul e o outro entre a costa da região Sul e Sudeste do Brasil.

Para a análise sazonal observa-se que na estação de verão, os três núcleos diminuem, sendo que desta vez a região que mais diminuiu a densidade é a que ficou situada entre a costa do Uruguai e do Rio Grande do Sul, justamente onde a densidade total de ciclones, na figura 6, apresentava o núcleo mais intenso. Desta vez a região que mais se destaca é na costa leste da Argentina, um pouco mais afastado para o oceano.

Na estação de outono a distribuição é parecida para os três núcleos, sendo que a região mais enfraquecida ocorre ao leste da Argentina.

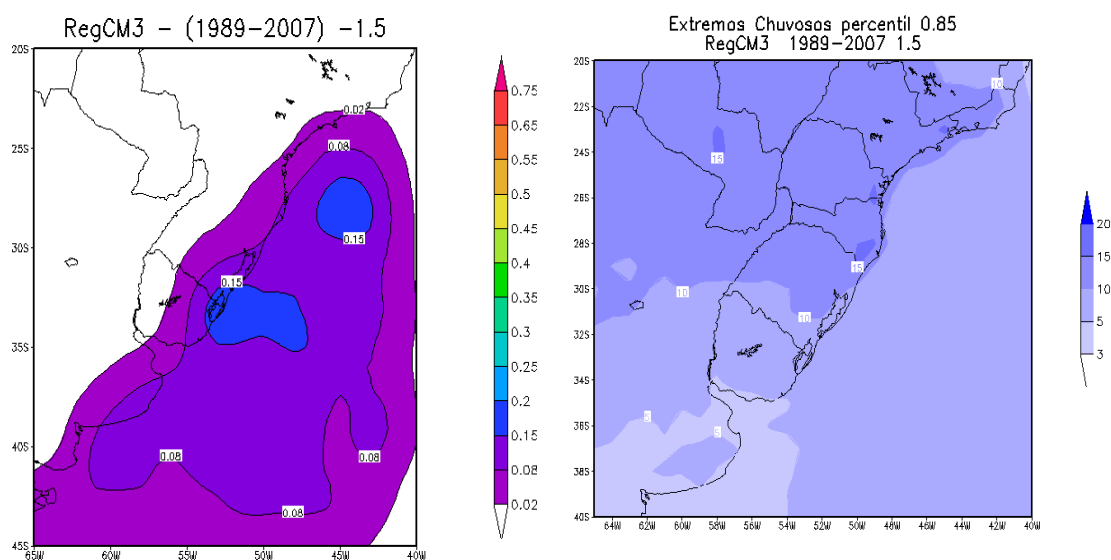
No inverno, a região com maior densidade fica mais afastada da costa, sobre o oceano, entre uma longitude de  $45^{\circ}\text{S}$  e  $40^{\circ}\text{S}$  e entre latitudes de  $40^{\circ}\text{S}$  e  $35^{\circ}\text{S}$ . Essa região aparece como uma quarta região na figura 6, porém bastante fraca. Isso pode significar que durante esta estação, os ciclones que mais provocam eventos extremos chuvosos sobre a Bacia do Rio da Prata, são os que se afastam mais para o oceano e tem um período de duração maior. Além dessa região que se mostra a mais densa, a região entre a costa do Sul e Sudeste do Brasil também se mostra com maior densidade, em relação às demais.

Durante os meses de primavera, os dois núcleos mais ao norte, entre a costa do Uruguai e do Rio Grande do Sul e entre a costa do Sul e Sudeste, se

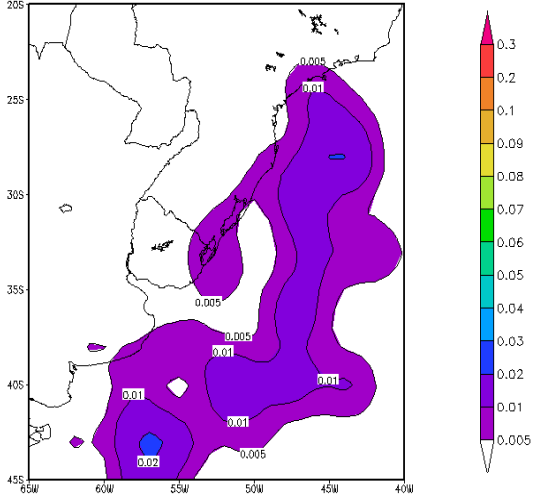
mostram mais intenso em relação ao núcleo mais ao Sul.

Em relação aos eventos extremos chuvosos, um pouco diferente dos resultados mostrados pelos dados da reanálise do ERA Interim, os dados simulados do RegCM3 não apresentam os extremos mais intensos deslocados para o sul da Bacia do Rio da Prata.

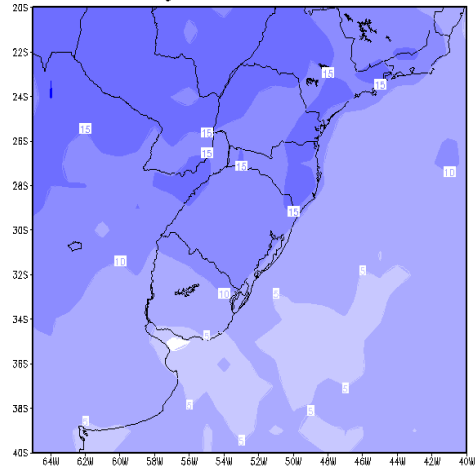
No RegCM3, observa-se que os extremos com valores maiores estão mais bem distribuídos sobre a região. Nos meses de inverno e outono, os extremos se concentram mais sobre o centro da região Sul do Brasil, particularmente na estação de inverno, estes extremos podem estar relacionados ao núcleo mais intenso de densidade sobre o oceano Atlântico, afastado da costa. Já nos meses de verão e primavera, os extremos mais intensos ficam concentrados mais ao norte da Bacia e podem estar mais associados aos ciclones que se formam próximo à costa do Sudeste do Brasil.



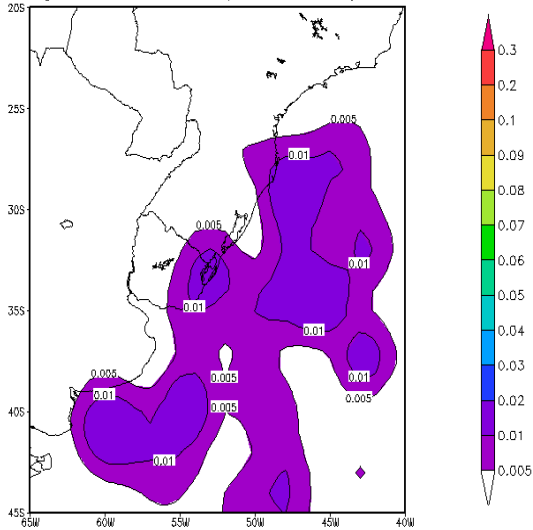
RegCM3 - Summer (1989-2007) -1.5



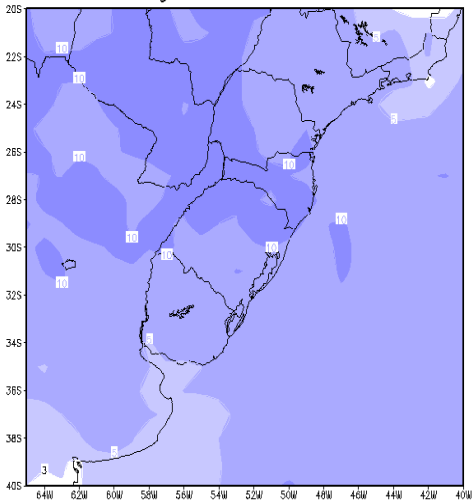
Extremos Chuvosos DJF percentil 0.85  
RegCM3 1989-2007 1.5



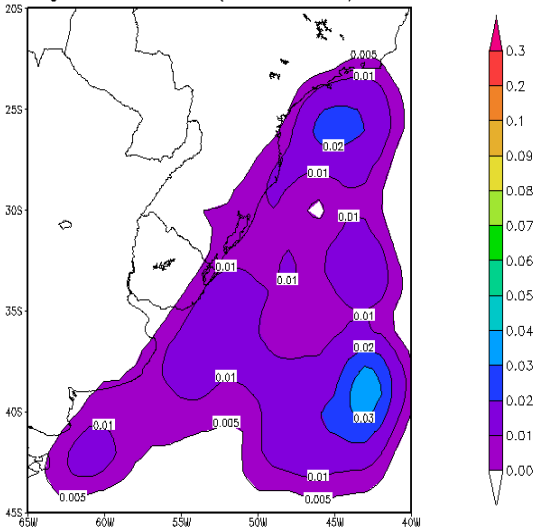
RegCM3 - Autumn (1989-2007) -1.5



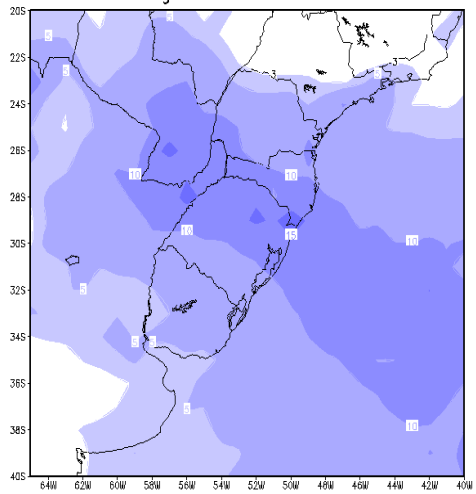
Extremos Chuvosos MAM percentil 0.85  
RegCM3 1989-2007 1.5



RegCM3 - Winter (1989-2007) -1.5



Extremos Chuvosos JJA percentil 0.85  
RegCM3 1989-2007 1.5



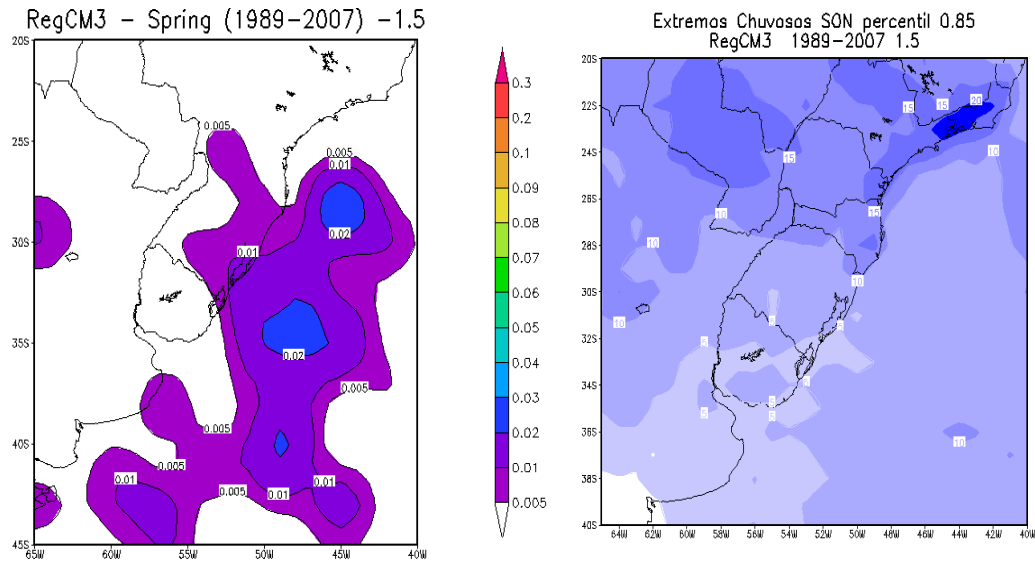
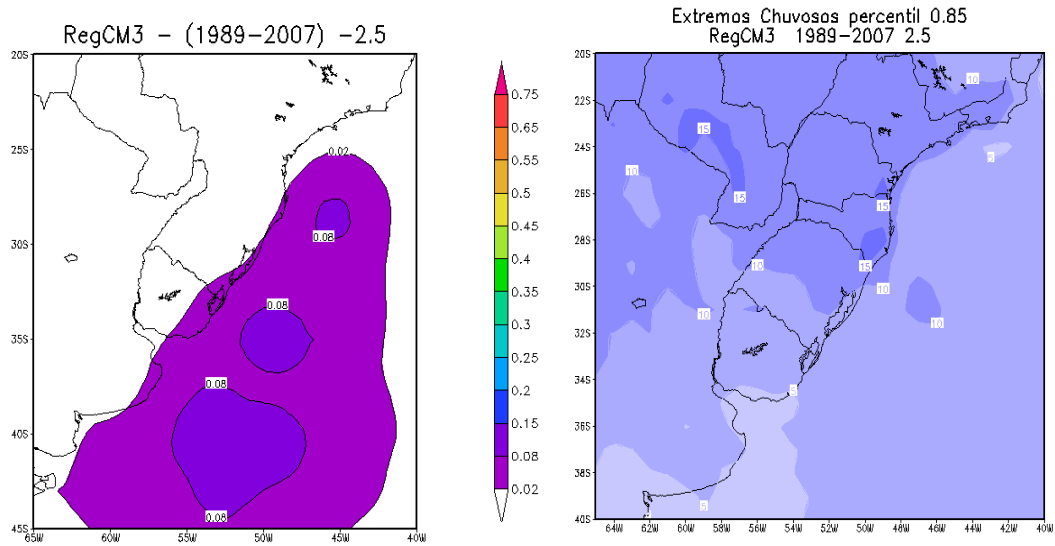
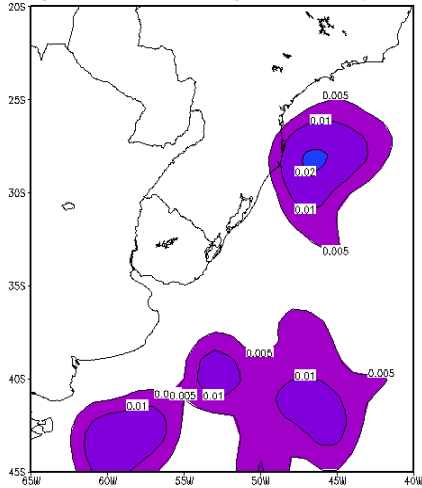


Figura 37 – Densidade de ciclones relacionados a eventos extremos chuvosos e média dos respectivos eventos extremos, calculados através dos dados simulados pelo RegCM3, de 1989 a 2007. Limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

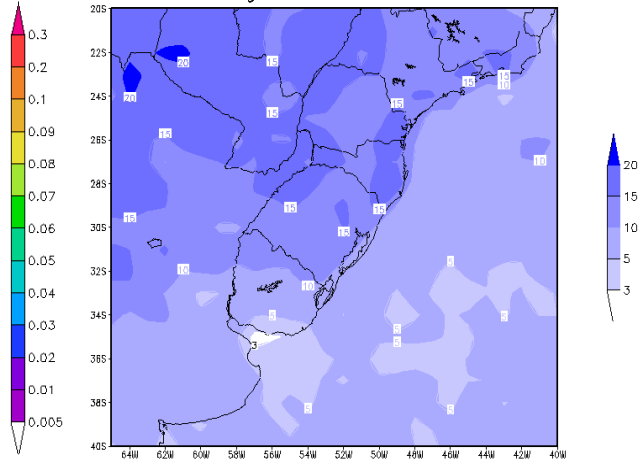




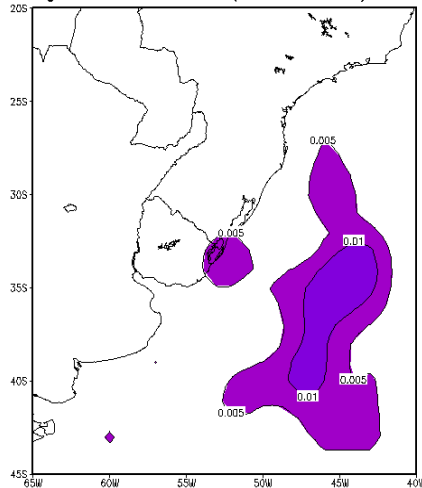
RegCM3 - Summer (1989-2007) -2.5



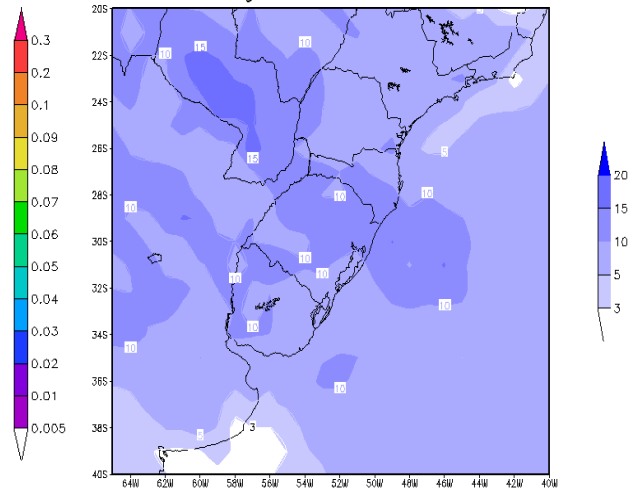
Extremos Chuvosos DJF percentil 0.85  
RegCM3 1989-2007 2.5



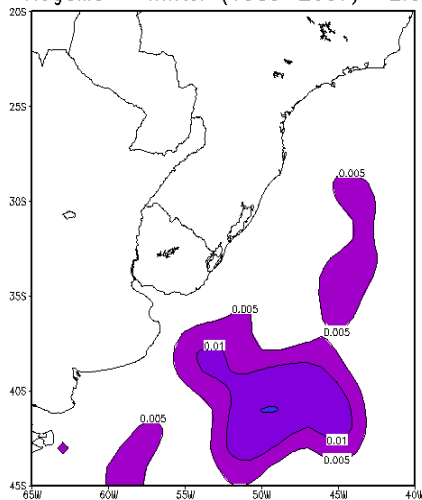
RegCM3 - Autumn (1989-2007) -2.5



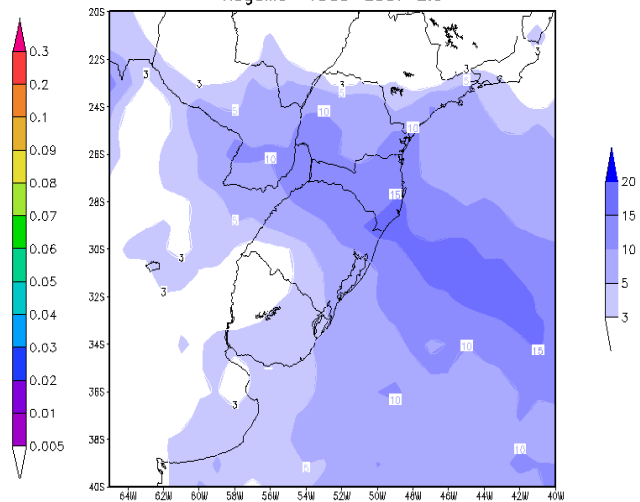
Extremos Chuvosos MAM percentil 0.85  
RegCM3 1989-2007 2.5



RegCM3 - Winter (1989-2007) -2.5



Extremos Chuvosos JJA percentil 0.85  
RegCM3 1989-2007 2.5



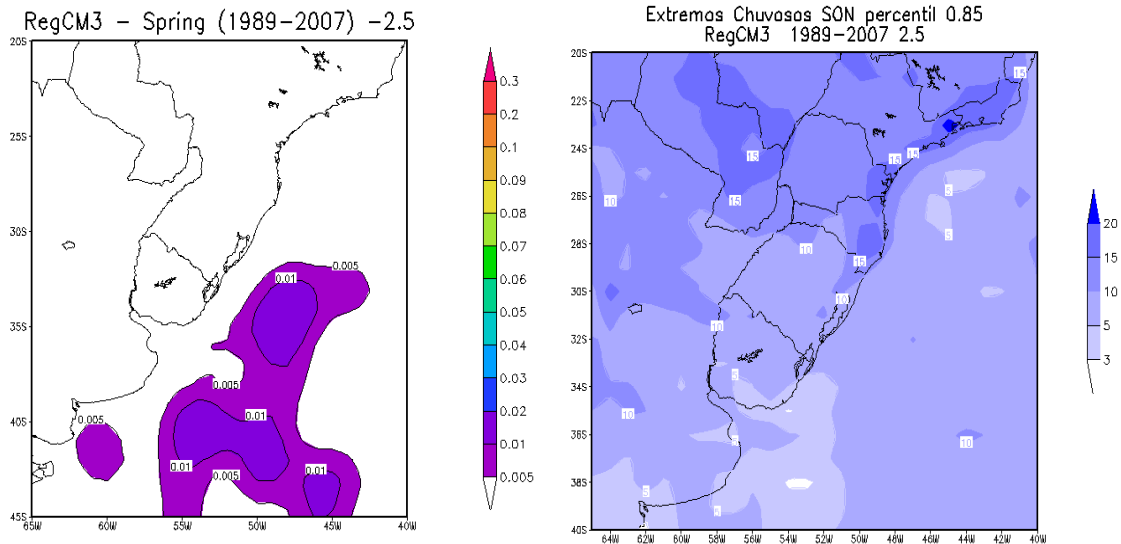


Figura 38 – Idem a figura 33, mas com limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

Estas mesmas análises foram feitas para o limiar  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ , porém o sinal da densidade de ciclones fica muito fraco, por isso não estão apresentados aqui, mas as figuras podem ser encontradas no Anexo 4.

## 4 CONCLUSÕES

Da análise de precipitação sobre a região da Bacia do Rio da Prata, de uma forma geral, mostra que o RegCM3 tem uma boa similaridade com os dados da reanálise do ERA-Interim e observados do CPC. No entanto, os dados do RegCM3 possui regiões um pouco mais secas, especialmente na região de interesse deste estudo, sobre o Uruguai e parte sudoeste do Rio Grande do Sul.

Na climatologia de extremos chuvosos, como na climatologia da precipitação sobre a América do Sul observa-se que os dados da reanálise do ERA-Interim, os simulados pelo RegCM3 e do CPC, apresentam boa similaridade. Porém, o CPC apresenta extremos mais distribuídos sobre a região da Bacia do Rio da Prata (no Sul do Brasil, norte da Argentina e parte do Paraguai). O RegCM3 e o ERA-Interim apresentam os maiores valores concentrados sobre o centro e sul da Bacia. Na estação de inverno, o CPC apresentou uma região mais intensa de extremos sobre a porção mais ao sul da Bacia o que concorda com os dados da reanálise e simulados, porém os valores são mais altos, assim também como no restante da região, na qual o RegCM3 e o ERA-Interim apresentam valores mais baixos. Notou-se que os dados do RegCM3 apresenta valores menores em relação aos dados observados, ou seja, para ser um extremo chuvoso nos dados do CPC os índices pluviométricos devem ser maiores.

Através da análise dos ciclones rastreados nas proximidades da Bacia do Rio da Prata, observa-se que o RegCM3 simulou um número maior de ciclones em relação aos dados da ERA-Interim, embora ambos estejam bem próximos. O RegCM3 simulou 853, enquanto o ERA-Interim simulou 846 eventos. Apesar

do número similar, as distribuições sazonal, mensal e anual foram diferentes, ou seja, os eventos rastreados nos dados RegCM3, nem sempre correspondem aos mesmos eventos rastreados nos dados do ERA Interim.

Na distribuição sazonal, para ciclones extratropicais mais fracos, com limiar de vorticidade  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , os meses de primavera apresentaram maior número de eventos nos dados do ERA-Interim e os meses de verão apresentaram maior número de eventos nos dados do RegCM3. No entanto, os dois mostraram que a estação do outono é a que identificou o menor número de eventos.

Além disso, na distribuição anual de ciclones extratropicais, não há um tendência evidente de diminuição ou aumento do número de eventos com o passar dos anos.

Da análise de sistemas mais intensos, com limiar de vorticidade relativa de  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  e  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , observou-se que para os dados do ERA-Interim os ciclones quanto mais intensos ocorrem em maior número no inverno, seguidos ainda pelo meses de primavera. No entanto, no rastreamento nos dados do RegCM3, encontrou-se que o número de ciclones rastreados nas estações de inverno, primavera e verão até se igualam para o limiar de vorticidade de  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , mas para o sistemas mais intensos, com limiar de  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , o verão ainda apresenta o maior número de eventos. Em comparação com estudos prévios (Gan e Rao, 1991 e Simmonds e Keay, 2000a e b), os resultados a partir da reanálise do ERA-Interim são mais coerentes, mostrando que na distribuição sazonal os ciclones mais intensos e com maior número ocorrem durante o inverno.

Deve ser notado que os ciclones neste estudo foram rastreados para uma

área diferente em relação aos estudos citados anteriormente. Simmonds e Keay (2000), por exemplo, mostram uma maior frequência de ciclones no inverno, mas usam latitudes maiores e os ciclones mais intensos estão justamente concentrados em latitudes maiores que 50°S e neste estudo foram usados eventos que ocorreram em latitudes menores que 50°S. Reboita (2008) rastreou ciclones com latitudes menores e encontrou que a frequência sazonal de ciclogêneses é diferente em cada uma das 3 áreas encontradas em seu estudo. No leste do sul/sudeste do Brasil e no leste da Argentina as ciclogêneses são mais frequentes no verão, enquanto no Uruguai, elas ocorrem no inverno. Reboita et al. (2010) também mostra que nem sempre o RegCM3 consegue representar bem a variabilidade sazonal de ciclones.

Para a análise de densidade de ciclones extratropicais, os dados do ERA-Interim apresentam uma região com maior intensidade na densidade de ciclones, entre o extremo Sul do Brasil e a costa do Uruguai. Porém, as outras duas regiões, uma sobre a costa norte da Argentina e outra sobre a costa do Sudeste do Brasil, se mostram mais enfraquecidas, em relação aos dados do RegCM3. Além disso, as figuras de densidade do ERA-Interim mostram que os ciclones ocorrem mais próximos à costa, enquanto, a densidade de ciclones do RegCM3 mostra-se mais espalhada pelo oceano Atlântico, inclusive indicando uma quarta região em destaque sobre o oceano, na altura da costa norte da Argentina. A maior abrangência e também a distribuição da densidade nos dados do RegCM3, justifica o rastreamento ter encontrado um número maior de ciclones nestes dados, apesar do ERA-Interim ter apresentado uma região muito mais intensa de densidade entre a costa do Uruguai e o Rio Grande do Sul. Além disso, eles apresentaram a estação de primavera como a estação

como a com o maior número de ciclones rastreados, para o limiar de  $\zeta_{10} \leq -1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , sendo que durante os meses de primavera, a densidade se mostra enfraquecida na região entre a costa do Uruguai e costa sul do Brasil, que é a região mais intensa na análise anual. Através da densidade, observa-se que na primavera os ciclones se formam e atuam em uma região mais abrangente e não tão concentrados como nas demais estações.

Para os ciclones mais intensos, com  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , destaca-se que nos dados do ERA-Interim, as três regiões de densidade ciclogênica, descritas em Reboita (2008), aparecem mais enfraquecidas e particularmente sobre a costa do Sudeste do Brasil, quase desaparecem, ficando visível apenas nos meses de primavera. Para os dados do RegCM3, observa-se que além do enfraquecimento da densidade, a distribuição não fica tão definida e as três regiões quase desaparecem.

Para os resultados da relação entre eventos extremos chuvosos e ciclones extratropicais, os eventos com vorticidade  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  são os que representam a maior associação a eventos extremos chuvosos. Se esperava que os eventos mais intensos, no caso com vorticidade  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , fossem os que possuísem a maior associação. No entanto, observou-se nas análises que quanto mais intensos os ciclones, menor era sua duração. Com isso, os ciclones de  $\zeta_{10} \leq -2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  possuem uma intensidade intermediária e uma duração um pouco maior que os eventos de  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  favorecendo uma maior relação com eventos extremos chuvosos. As estações de verão e de primavera, de uma forma geral, são as que apresentam o maior número de ciclones relacionados com eventos extremos chuvosos na região de estudo. Isso está relacionado ao fato de que as estações verão e

primavera são as mais chuvosas sobre grande parte da América do Sul, inclusive sobre a região da Bacia do Rio da Prata. No inverno, o RegCM3 apresenta uma baixa relação de ciclones extratropicais com eventos extremos de precipitação, onde se conclui, que durante os meses desta estação, este modelo é mais seco.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEU, C. M. L. AND AMBRIZZI, T. (2006). Variabilidade interanual e intersazonal da frequência de ciclones no hemisfério Sul, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21, 44-55.

Blender, R.; K. Fraedrich; F. Lunkeit, 1997: Identification of cyclone-track regimes in the North Atlantic. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 123, 727–741.

DICKISON, R., KENNEDY, P., HENDERSON-SELLERS, A. and WILSON, M. (1986). Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) for the ncar community climate model, Technical report, National Center for Atmospheric Research.

Fernandez, J. P. R.; S. H. Franchito; V. B. Rao, 2006: Simulation of the summer circulation over South America by two regional climate models. Part I: Mean Climatology. *Theor. Appl. Climatol.*, 86, 247-260.

Gan, M. A., and B. V., Rao, 1991: Surface cyclogenesis over South America. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 293-302.

Giorgi, F., M. R. Marinucci, and G. T. Bates, 1993 a: Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part I: Boundary-Layer and Radiative Transfer Process. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2794-2813.

Giorgi, F., M. R. Marinucci, and G. T. Bates, 1993 b: Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part II: Convective Process and Assimilation of Lateral Boundary Conditions. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2814-2832.

Grell, G. A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 764-787.

Helber, B. G., 2007: Modelagem Climática Regional dos CCMs que Atingem o Sul-Sudeste Brasileiro. Dissertação de Mestrado defendida no Departamento de Ciências Atmosféricas do IAG/USP, 86pp.

Hudson, D. A.; B. C. Hewitson, 1997: Mid-latitude cyclones south of Africa in the GENESIS GCM. *Int. J. Climatol.*, 17, 459–473.

Hudson, D. A., 1997: Southern African climate change simulated by the GENESIS GCM. *S. Afr. J. Sci.*, 93, 389–408.

Kiehl, J. T., e co-autores, 1996: Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3), Tech. Rep. TN-420+STR, NCAR, Boulder, Colorado, pp. 152.

Lambert, S. J., 1988: A Cyclone Climatology of the Canadian Centre General Circulation Model. *J. Climate*, 1, 109-115.

Lambert, S. J., 1995: The effect of enhanced greenhouse warming on winter cyclone frequencies and strengths. *J. Climate*, 8, 1447–1452.



Lambert, S. J. e J. C. Fyfe, 2006: Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments: results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise. *Climate Dynamics*, DOI 10.1007/s00382-006-0110-3.

Lionello, P; U. Boldrin; F. Giorgi, 2008: Future changes in cyclone climatology over Europe as inferred from a regional climate simulation. *Climate Dynamics*, 30, 657-671.

König, W, R. Sausen, F. Sielmann, 1993: Objective Identification of Cyclones in GCM Simulations. *J. Climate*, 6, 2217 – 2231.

KRÜGER, L.F. Projeções Climáticas das Ciclogêneses no Atlântico Sul Utilizando os Modelos HadAM3 e RegCM3. 2009. 105p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Murray, R. J., and I. Simmonds, 1991 a: A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data. Part I: Development and operation of the scheme. *Aust. Meteor. Mag.*, 39, 155-166.

\_\_\_\_\_, and \_\_\_\_\_, 1991 b: A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data. Part II: Application to January and July general circulation model simulations. *Aust. Meteor. Mag.*, 39, 167-180.

Necco, G. V., 1982 a: Comportamiento de Vortices Ciclonicos En El Area Sudamerica Durante El FGGE: Ciclogenesis. *Meteorologica*, 13 (1), 7-19.

\_\_\_\_\_, 1982 b: Comportamiento de Vortices Ciclonicos En El Area Sudamerica Durante El FGGE: Trayectorias y Desarrollos. *Meteorologica*, 13 (1), 21-34.

Nicolini, M., A. C. Saulo, J. C. Torres, and P. Salio, 2002: Enhanced precipitation over southeastern South América related to strong low-level jet events during austral warm season. *Meteorologica*, Special Issue for the South American Monsoon System, 27, 59-69.

Pal, J. S., E. E. Small, and E. A. B. Eltahir, 2000: Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM. *J. Geophys. Res.*, 105 (D24), 29579-29594.

Pal, J. S., et al., 2007: Regional climate modeling for the developing world - The ICTP RegCM3 and RegCNET. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 88, 1395-1409.

Peixoto, J. P., and A. H. Oort, 1992: *Physics of Climate*. American Institute of Physics, 520 pp.

Pezza, A. B., and T. Ambrizzi, 2003: Variability of Southern Hemisphere Cyclone and Anticyclone Behavior: Further Analysis. *J. Climate*, 16 (7), 1075-1083.

Raible, C. C.; R. Blender, 2004: Northern Hemisphere midlatitude cyclone variability in GCM simulations with different ocean representations. *Climate Dynamics*, 22, 239-248.

Reboita, M. S., 2008: Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade. Tese de Doutorado defendida no Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG/USP, 316pp.

Reboita, M.S.; Rocha, R.P.; Ambrizzi, T.; Sugahara, S., 2010: South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3). *Climate Dynamics*; v. 35, n. 7, p. 1331-1347.

Rocha, R. P., S. Sugahara, and R. B. Silveira, 2004: Sea Waves Generated by Extratropical Cyclones in the South Atlantic Ocean: Hindcast and Validation against Altimeter Data. *Weather and Forecasting*, 19, 398-410.

ROCHA, R. P.; MORALES, C. A.; CUADRA, S. V.; AMBRIZZI, T. Precipitation diurnal cycle and summer climatology assessment over South America: An evaluation of Regional Climate Model version 3 simulations. *Journal of Geophysical Research*, v. 114, p. 1-19, 2009.

Salio, P., E. Zipser, M. Nicolini and C. Liuct, 2004: Diurnal cycle of mesoscale convective systems over southeastern South America. *Inter. Clouds and Precipitation Conference*, July 18-23, Bologna, Italy.

Salio, P., Nicolini, M. and E. J. Zipser, 2006: Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and their relationship with the South American Low Level Jet. *Monthly Weather Review*. Em publicação.

Sinclair, M. R., 1994: An Objective Cyclone Climatology for the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 2239-2256.

Sinclair, M. R.; I. G. Watterson, 1999: Objective Assessment of Extratropical Weather Systems in Simulated Climates. *J. Climate*, 12, 3467-3485.

Sinclair, M. R., 1995: A climatology of cyclogenesis for the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 1601-1619.

Simmonds, I., and Keay, K., 2000: Mean Southern Hemisphere Extratropical Cyclone Behavior in the 40-Year NCEP-NCAR Reanalysis. *J. Climate*, 13, 873-885.

SIMMONS A, UPPALA S, DEE D, KOBAYASHI S. ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF Newsletter* 110: 26–35. 2006.

Sugahara, S., 2000: Variação anual da frequência de ciclones no Atlântico Sul. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia – II Encontro Brasileiro de Interação Oceano Atmosfera, outubro de 2000, Rio de Janeiro, 2607-2611.

Taljaard, J. J., 1967: Development, distribution and movement of cyclones and anticyclones in the Southern Hemisphere during IGY. *J. Appl. Meteor.*, 6, 973-987.

Teixeira, M. S.; Satyamurty, P. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil. *Monthly Weather Review*, v. 135, p. 598–617, 2007.

Torres, J. C. e M. Nicolini, 1999: Analysis of a mesoscale convective system centered over the Río de la Plata. *Australian Meteorological Magazine*, Vol. 48, 261-272.

Torres, J.C., 2003: Sistemas convectivos en mesoescala altamente precipitantes en el centro y norte de Argentina. [Heavily precipitating mesoscale convective systems over Central and Northern Argentina]. PhD dissertation, University of Buenos Aires, Argentina, 132 pp.

Velasco, E.; Fritsch, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, v. 92, n. D8, p. 9591–9613, 1987.

Vera, C. S., P. K. Vigliarolo, and E. H. Berbery. 2002: Cold Season Synoptic-Scale Waves over Subtropical South America. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 684-699.

Watterson, I. G., 2006: The intensity of precipitation during extratropical cyclones in global warming simulations: a link of cyclone intensity? *Tellus*, 58A, 82-97.

WILKS S. D., 1995, *Statistical Methods in the Atmospheric Science - 2ª edição*, Academic Press, NY, 470p.

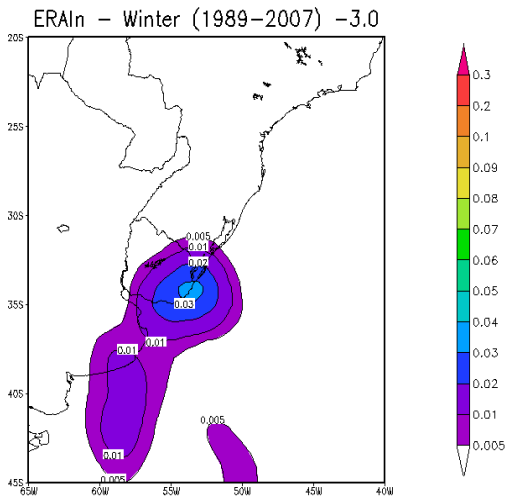
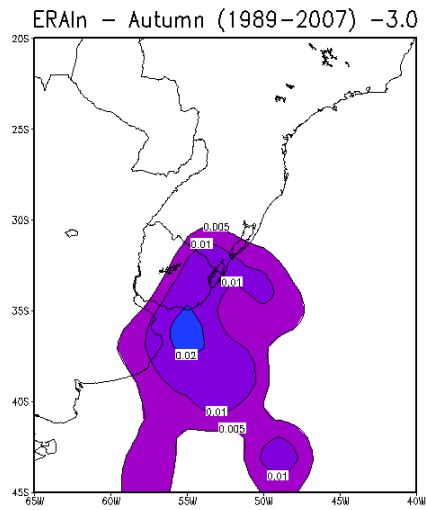
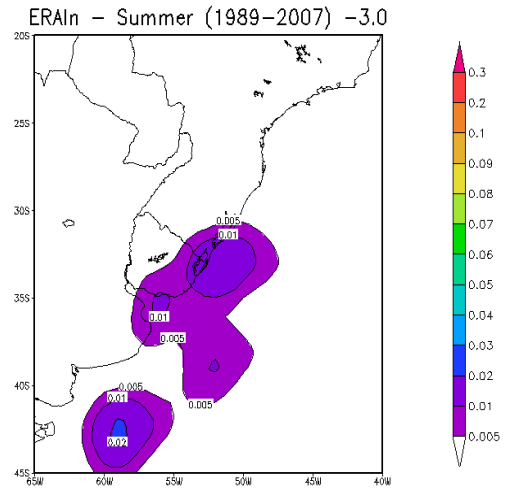
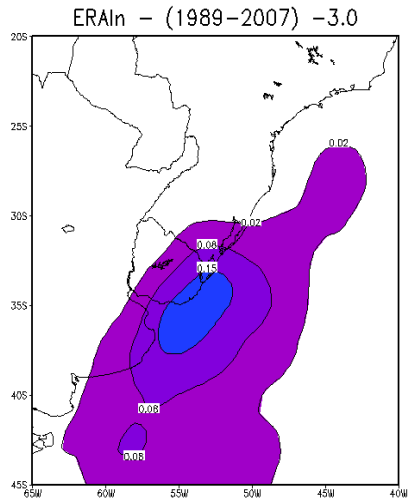
XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Caracterização de períodos secos e ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da técnica dos quantis: 1964-1998. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 14, n. 2, p. 63–78, 1999.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; ALVES, J. M. B. Quantis e Eventos extremos: Aplicações em Ciências da Terra e Ambientais. [S.l.]: RDS, 2007. 278 p.

Zhang, Y.; W.-C. Wang, 1997: Model-simulated northern winter cyclone and anticyclone activity under a greenhouse warming scenario. *J. Climate*, 10, 1616–1634.

# 5 ANEXOS

## Anexo 1



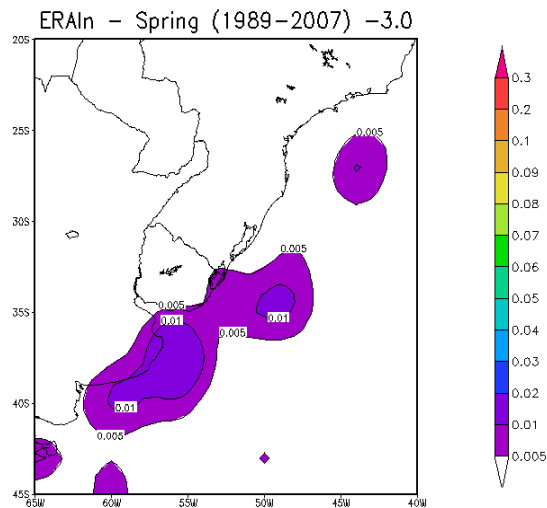
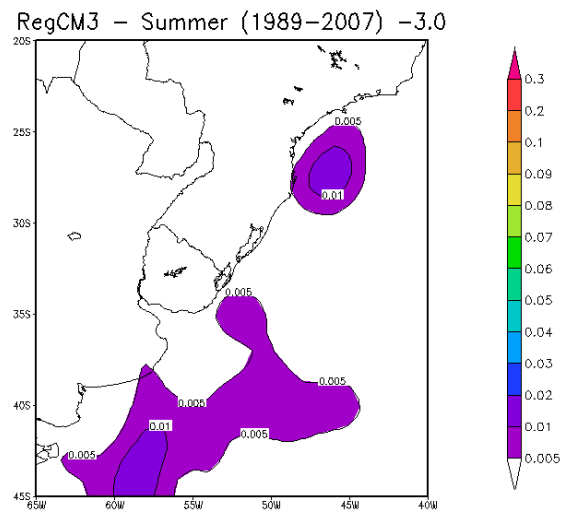
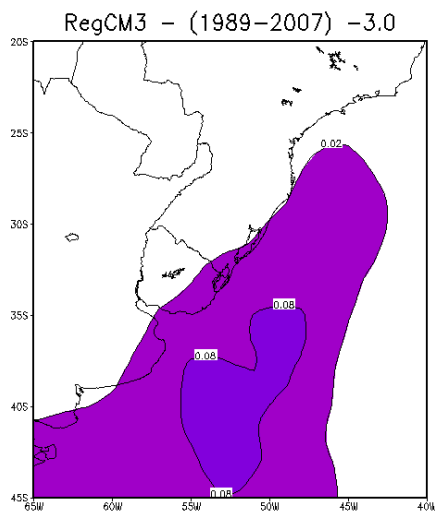


Figura 39 – Variação anual e sazonal da densidade de ciclones calculada através dos dados do ERA-Interim de 1989 a 2007, para o limiar  $\zeta_{10} \leq -3.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .

## Anexo 2



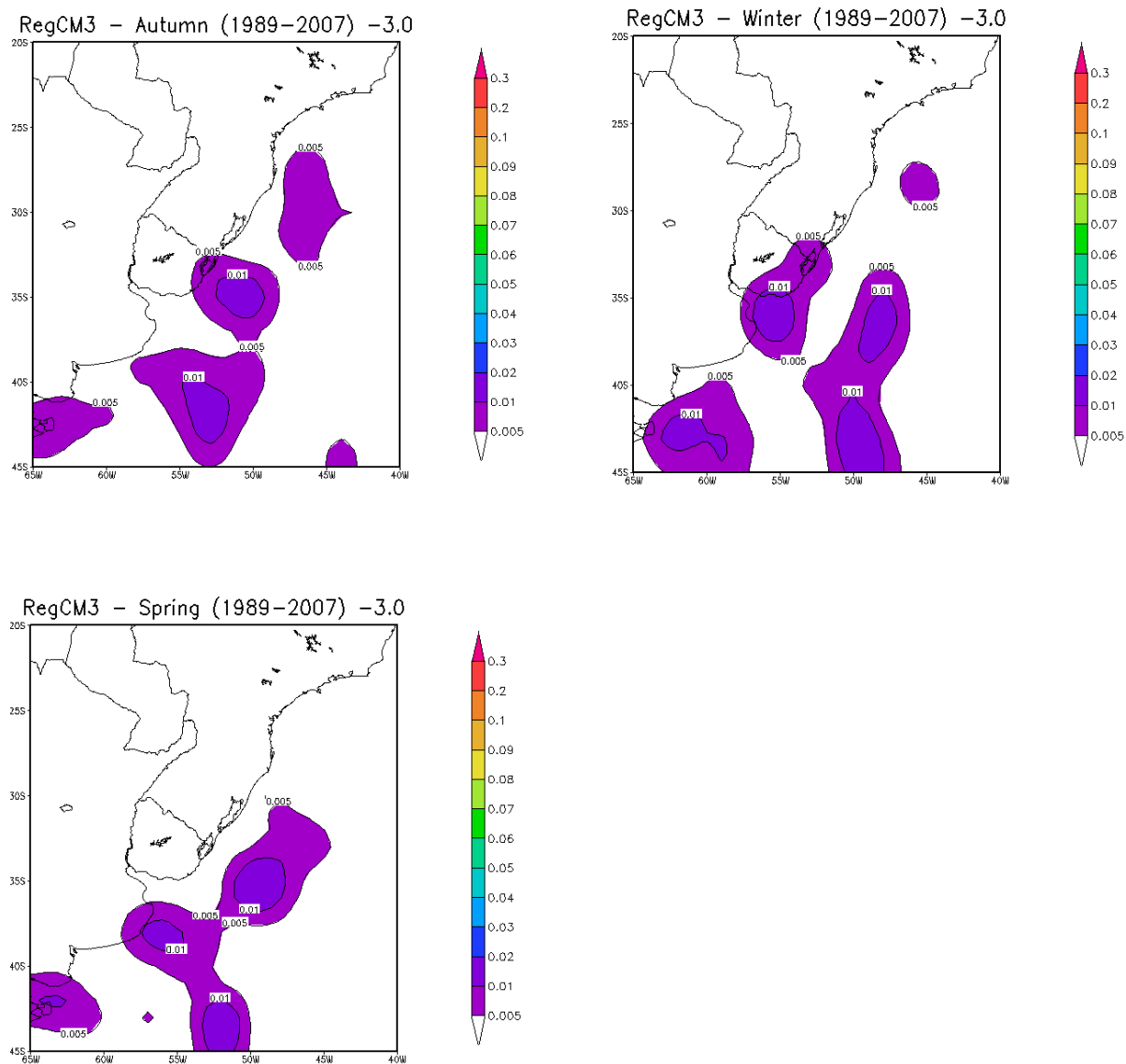
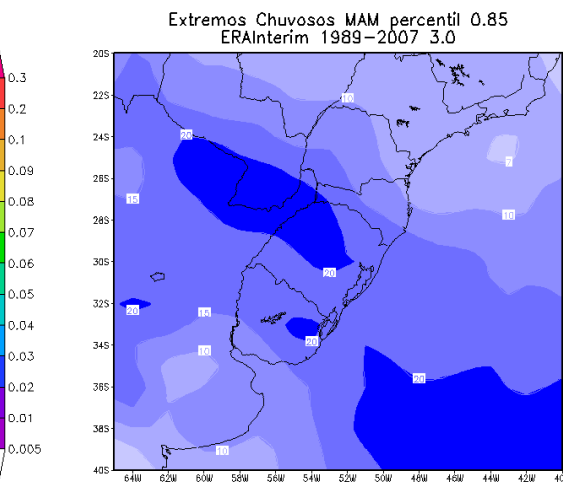
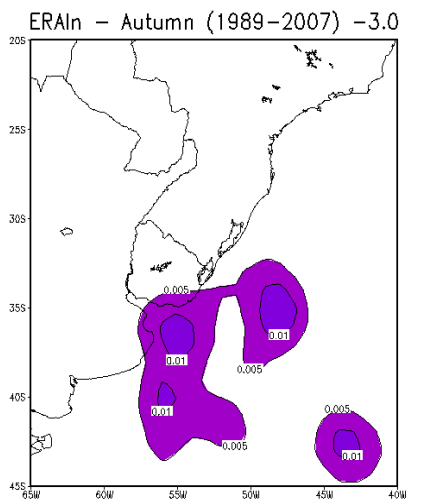
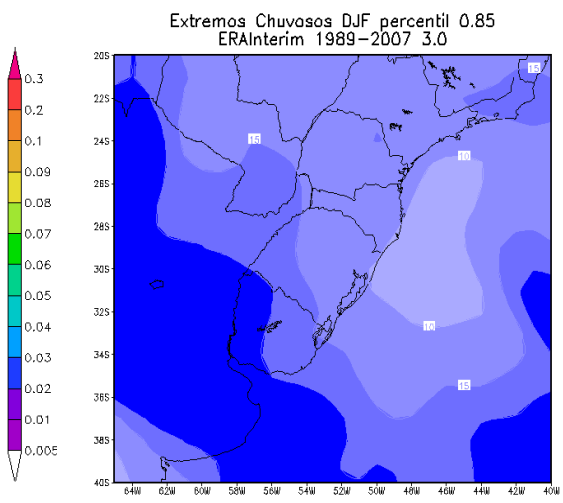
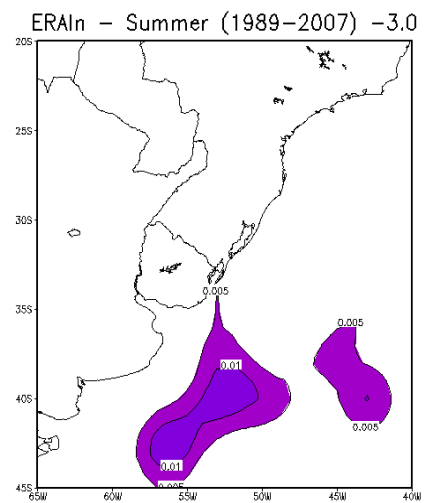
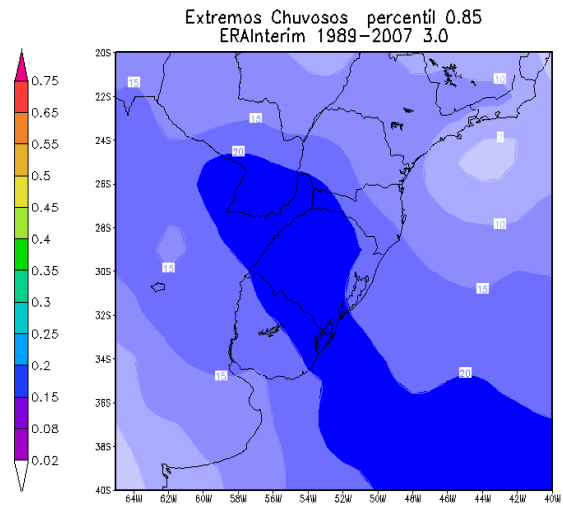
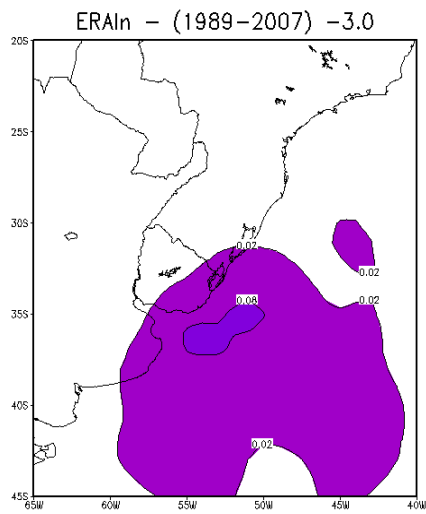


Figura 40 – Variação anual e sazonal da densidade de ciclones calculada através dos dados do RegCM3 de 1989 a 2007, para o limiar  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ .

### Anexo 3



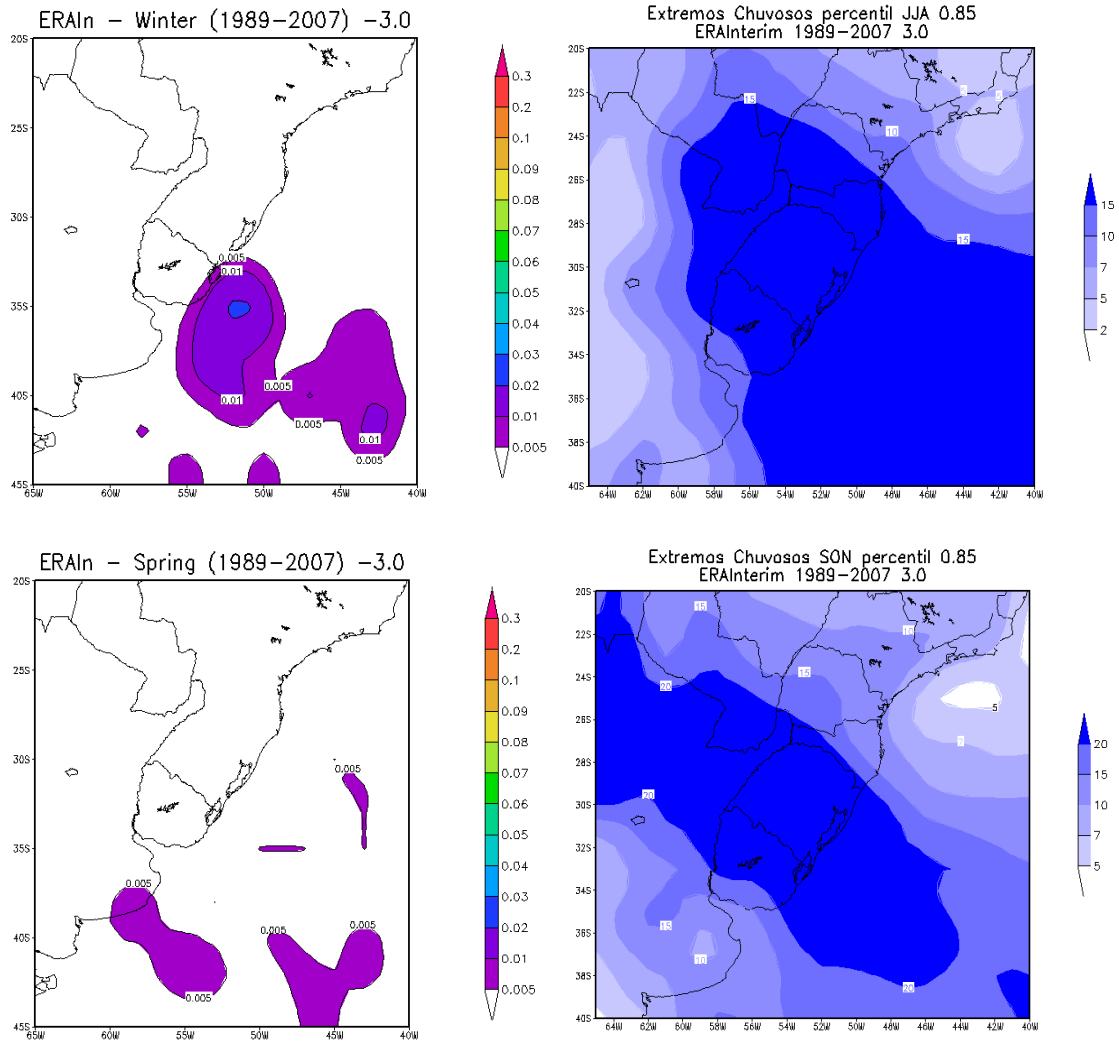
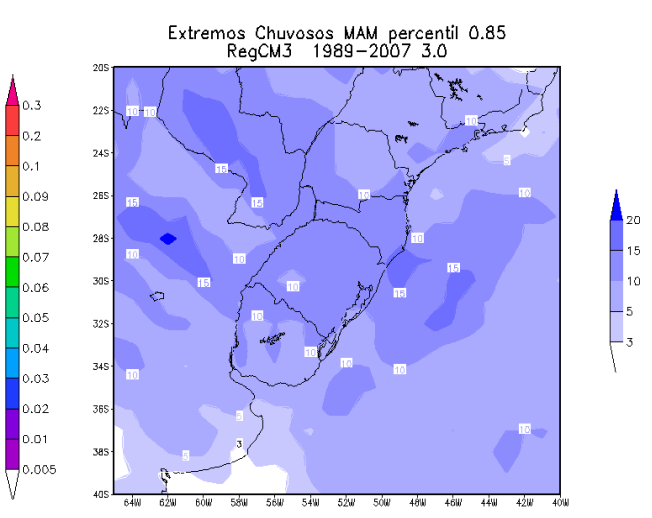
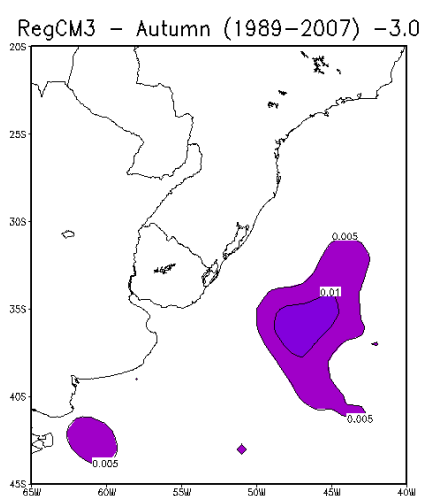
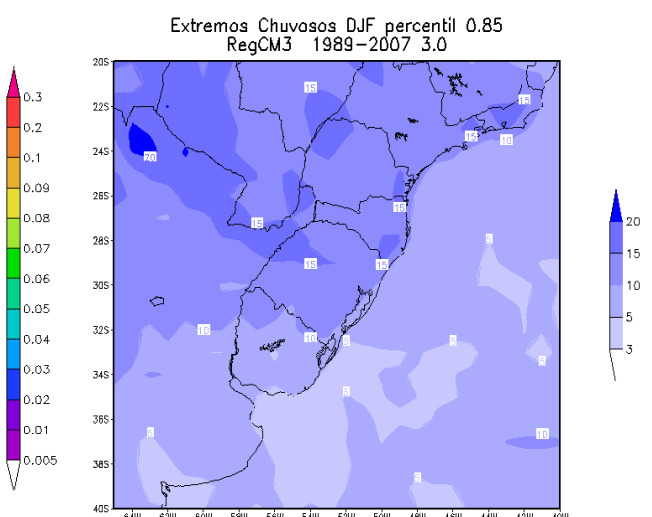
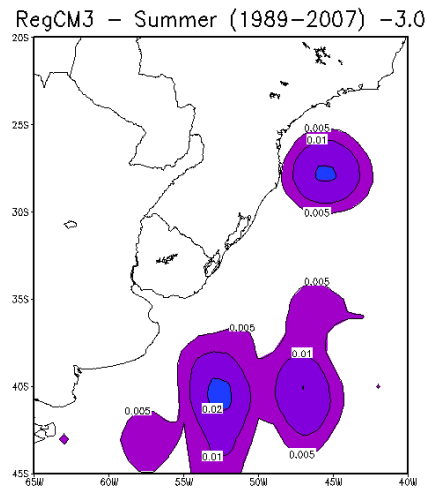
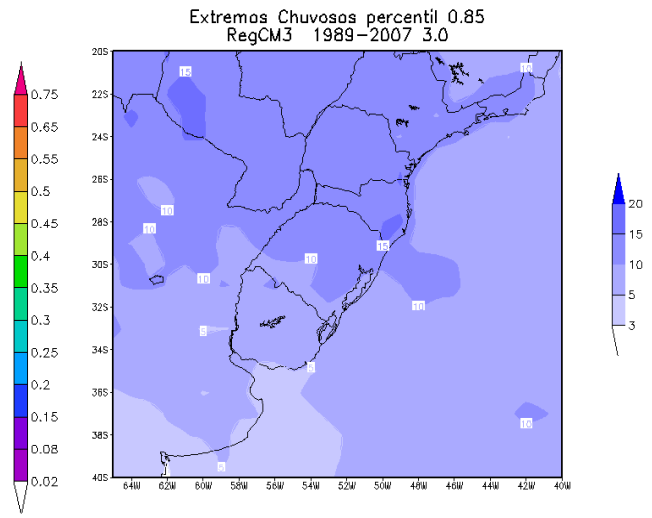
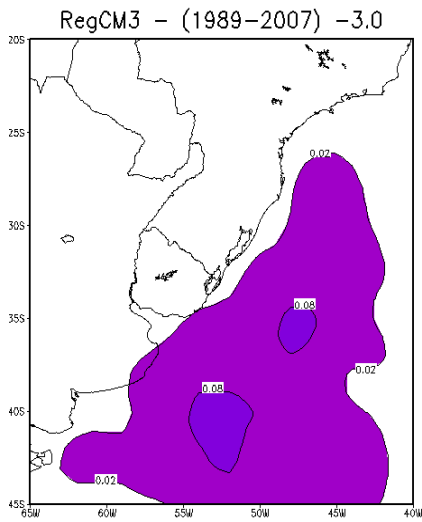


Figura 41 – Densidade de ciclones relacionados a eventos extremos chuvosos e média dos respectivos eventos extremos, calculados através dos dados simulados pelo ERA-Interim, de 1989 a 2007. Limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .



# Anexo 4



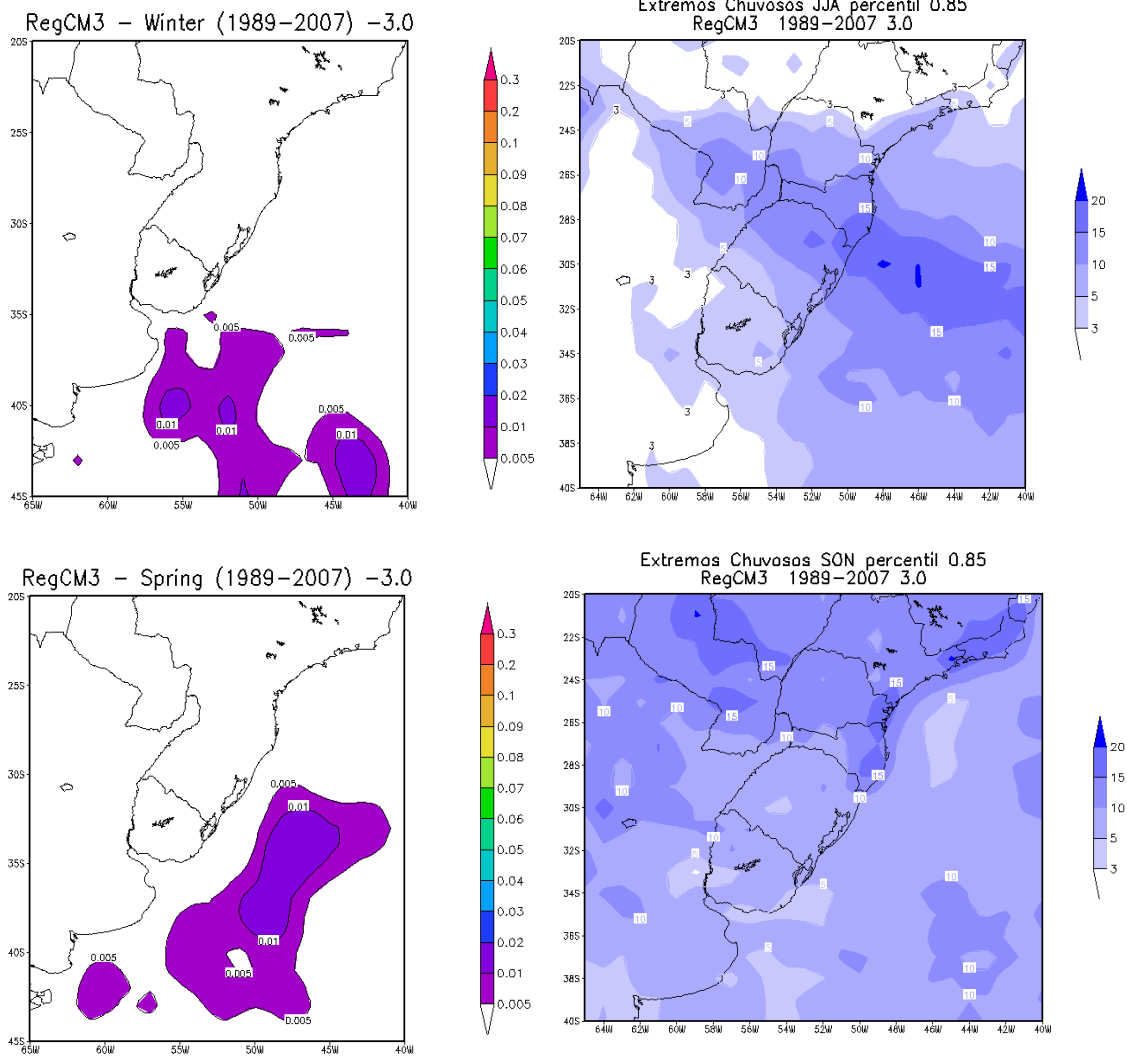


Figura 42 – Densidade de ciclones relacionados a eventos extremos chuvosos e média dos respectivos eventos extremos, calculados através dos dados simulados pelo RegCM3, de 1989 a 2007. Limiar de vorticidade usado no cálculo dos ciclones de  $\zeta_{10} \leq -3,0 \times 10^{-5} s^{-1}$ .