



## **IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O COMPORTAMENTO DOS CICLONES EXTRATROPICAIS NO ATLÂNTICO SUL**

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

Ariane Campani Matos (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: [ariane.campani@gmail.com](mailto:ariane.campani@gmail.com)

Dra. Chou Sin Chan (DMD/CPTEC/INPE, Orientadora)

E-mail: [chou@cptec.inpe.br](mailto:chou@cptec.inpe.br)

COLABORADORA

Dra. Claudine Pereira Dereczynski (IGEO/UFRJ)

E-mail: [claudine@acd.ufrj.br](mailto:claudine@acd.ufrj.br)

Julho de 2012

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 2 – DADOS E METODOLOGIA.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 3 – RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E ETAPAS FUTURAS.....</b>	<b>25</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>27</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>29</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Grandes esforços são empreendidos na compreensão dos fenômenos atmosféricos extremos, que atingem milhões de pessoas em todo planeta. Dentre esses fenômenos de maior impacto sobre a população, os processos ciclogênicos recebem atenção especial devido à possibilidade de formação de intensos vórtices acompanhados de fortes chuvas e ventos intensos. Esses sistemas podem interferir de modo significativo nas condições do mar, aumentando de forma perigosa as ondas junto à costa de diversos países ao redor do mundo. A navegação também fica prejudicada durante a passagem de ciclones, que geralmente possuem grande trajetória marítima.

Em particular, as regiões Sul e Sudeste do Brasil são freqüentemente atingidas por fortes ventos originados por ciclones extratropicais, e as suas áreas costeiras são afetadas pelo fenômeno de ressaca. A agitação marítima desta região deve-se à persistência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que impõe a condição mais freqüente, porém menos energética; por sua vez, os ciclones extratropicais e as altas polares associadas estão ligados aos eventos extremos. Os ciclones apresentam o gatilho para a formação das maiores ondulações enquanto as altas polares funcionam no sentido de manter a persistência e a extensão da pista de vento, permitindo que as ondas cresçam e se propaguem por grandes distâncias.

De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação (Fourth Assessment Report – AR4) do Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC), publicado em 2007 (IPCC, 2007), um significativo aumento no número e na intensidade de ciclones extratropicais tem sido documentado em vários estudos (Lambert, 1996; Gustafsson, 1997; McCabe et al., 2001; Wang et al., 2006), com mudanças associadas em suas trajetórias preferenciais. Para o Atlântico Sul existem poucos trabalhos sobre o assunto.

Neste trabalho, as saídas das integrações do modelo regional Eta (versão climática) do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) são utilizadas para avaliar se o modelo é capaz de reproduzir o clima presente (1961-1990) no que diz respeito a formação dos ciclones. O modelo regional Eta do CPTEC/INPE foi adaptado para realizar integrações de escala de décadas para

estudos de mudanças climáticas utilizando-se como condição de contorno lateral e inferior as projeções de cenário A1B do IPCC geradas pelo modelo HadCM3 do Hadley Centre (Eta-HadCM3) para o clima futuro (2011-2099), com resolução de 40 km sobre a América do Sul.

O objetivo do trabalho é, através de comparações das saídas do Modelo Eta com a Reanálise 1 do NCEP/NCAR, verificar o potencial do modelo Eta para reproduzir a frequência de ocorrência dos ciclones, suas trajetórias e as tendências de aumento e/ou redução da frequência de ocorrência dos sistemas no clima presente, na região do Atlântico Sul. A partir daí serão considerados o uso e as incertezas destas simulações em estudos de projeções para o clima futuro (2011-2099).

O esquema numérico para detecção dos ciclones a ser utilizado neste trabalho, denomina-se CYCLOC (Murray e Simmonds, 1991). Tal esquema, tem a função de procurar por mínimos e máximos num conjunto qualquer de dados, mas foi originalmente desenvolvido para localizar sistemas de baixas e altas pressões meteorológicas, em médias e altas latitudes por todo globo terrestre.

Neste relatório apresenta-se a descrição dos dados e da metodologia do trabalho no capítulo 2, os resultados da climatologia sazonal dos ciclones utilizando-se como dados de entrada a Reanálise 1 do NCEP/NCAR e o do modelo Eta-HadCM3 no capítulo 3 e finalmente as considerações finais e etapas futuras no capítulo 4.

## CAPÍTULO 2

### DADOS E METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os conjuntos de dados utilizados neste trabalho, a Reanálise 1 do NCEP/NCAR, as características do modelo Eta-HadCM3 e do programa CYCLOC.

#### 2.1 Reanálise 1 do NCEP/NCAR

O sistema de assimilação de dados da Reanálise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e do National Center for Atmospheric Research (NCAR) descrito com mais detalhes em Kalnay et al. (1996) inclui o modelo global espectral do NCEP operacional em 1995, com 28 níveis sigma na vertical e truncamento triangular de 62 ondas, equivalente a uma resolução horizontal aproximada de 210 km na horizontal ( $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  de latitude e longitude). As observações assimiladas são radiossondagens; sondagens verticais de temperatura operacional do TIROS Operational Vertical Sounder (TOVS); ventos determinados a partir de satélites geoestacionários; observações de ventos e temperatura de aeronaves, dados de pressão à superfície de estações meteorológicas em terra; e dados oceânicos de pressão à superfície, temperatura, vento horizontal e umidade específica. As observações de precipitação não são assimiladas pelo sistema da Reanálise, portanto, os dados de precipitação gerados são acumulados a cada 6 horas pelo modelo (Janowiak, 1998).

O modelo parametriza os principais processos físicos, como, radiação (incluindo o ciclo diurno e a interação com as nuvens), convecção, precipitação em grande escala, física da camada limite, entre outros. Os detalhes da dinâmica e física do modelo são descritos em NOAA/NMC Development Division (1988), Kanamitsu (1989) and Kanamitsu et al. (1991). Uma diferença principal no modelo como descrito por Kanamitsu et al. (1991) é o uso de um esquema simplificado da parametrização da convecção de Arakawa-Schubert desenvolvido por Bandeira e Wu (1994), baseados em Grell (1993). Este esquema resulta numa previsão da precipitação melhor do que o esquema anterior (Kuo; 1965,1974), nos Estados Unidos (calculado pelo equitable threat scores) e apresenta resultados mais realísticos nos Trópicos.

As variáveis em pontos de grade (produto da Reanálise mais usado) são classificadas em quatro categorias (A, B, C e D) dependendo da influência relativa do dado observacional e do modelo sobre a variável (Kalnay et al., 1996). A pressão ao nível médio do mar, utilizada neste trabalho é classificada na categoria A, a classe mais confiável, onde a variável analisada é fortemente influenciada pelos dados observacionais.

Neste trabalho são utilizados dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR disponíveis no site <http://www.cdc.noaa.gov> no formato NetCDF. O período a ser utilizado será de janeiro de 1961 até dezembro de 1990.

## **2.2 O Modelo Eta do CPTEC/INPE**

O modelo de mesoescala Eta foi desenvolvido a partir de uma parceria entre a Universidade de Belgrado, Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia e o Centro Nacional de Previsão Ambiental (NCEP), localizado nos Estados Unidos. Operacionalmente o modelo Eta foi primeiramente implementado no NCEP (Mesinger et al. 1988; Black 1994). No Brasil o modelo Eta está operacional desde 1996, no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) (Chou, 1996). O modelo regional se propõe a prever com maiores detalhes fenômenos associados a frentes, orografia, brisas marítimas, tempestades severas, etc., enfim, sistemas organizados em mesoescala.

O modelo Eta é um modelo em ponto de grade de equações primitivas. A grade horizontal é a grade E de Arakawa e a coordenada vertical é a coordenada Eta. A topografia é representada em forma de degraus. As variáveis prognósticas do modelo são: temperatura do ar, componente zonal e meridional do vento, umidade específica, hidrometeoros da nuvem, pressão à superfície e energia cinética turbulenta.

### **2.2.1 A versão Eta-HadCM3**

O “ensemble de perturbações físicas” (EPF) do modelo HadCM3 com a forçante do efeito estufa atmosférico do cenário SRES-A1B é composto pelo modelo padrão mais 16 membros do mesmo, cada um com uma diferente sensibilidade climática. Espera-se que a grande variação na resposta da temperatura global no final do século XXI produza alguma grande variação também na resposta da temperatura do clima regional através de uma

regionalização dinâmica (*downscaling*). Três membros mais o controle foram selecionados para rodar o modelo regional Eta do CPTEC para medir o grau de incerteza no modelo global, uma vez que os mesmos simulam razoavelmente bem o clima sobre a América do Sul. Desta forma, uma maior gama possível de simulações de modelos regionais de plausíveis climas futuros pode ser gerada.

Os conjuntos das condições de contorno do modelo HadCM3 passados ao modelo Eta do CPTEC são os seguintes: aenwh/aenwl; aexso/aeyjo; aexsj/aeyjj e aexsb/aeyjb. Os pares de experimentos se referem às partes histórica (presente) e futura das rodadas. O primeiro par é o membro não perturbado (controle, “*CNTRL*”), o segundo é um membro com alta sensibilidade (“*HIGH*”), o terceiro é um membro com média sensibilidade (“*MID*”) e o quarto é um membro com baixa sensibilidade (“*LOW*”). O membro não perturbado está entre os membros de baixa e média sensibilidade. Apesar de somente um cenário de emissões (SRES-A1B) estar disponível, as diferenças na sensibilidade dos modelos podem fornecer a ideia representativa de climas futuros plausíveis através de diferentes caminhos de emissões. O modelo de alta sensibilidade (HIGH) provê mudanças possíveis diante dos cenários SRES-A2 ou SRES-A1FI. Da mesma maneira, as alterações vistas no modelo de baixa sensibilidade (LOW) podem fornecer uma ilustração qualitativa de um cenário de baixas emissões, como o SRES-B1 (Marengo *et al.*, 2011).

O modelo Eta do CPTEC aninhado às condições de fronteira do modelo HadCM3 (modelo climático regional Eta-HadCM3) foi rodado no INPE para o clima presente (1961 – 1990) e para o clima futuro (2011-2040; 2041-2070 e 2071-2099), forçado pela TSM fornecida pelo modelo HadCM3, como descrito anteriormente.

### **2.3 O Programa CYCLOC**

O esquema numérico utilizado neste trabalho, denominado CYCLOC, foi desenvolvido por Murray e Simmonds (MS) (1991) do Departamento de Meteorologia da Universidade de Melbourne na Austrália.

O esquema é totalmente automatizado de forma que nenhuma intervenção manual é necessária depois que uma série de parâmetros de procura e rastreio for especificada. Sua função é procurar por mínimos e máximos num conjunto qualquer de dados, mas foi originalmente desenvolvido para localizar baixas e altas meteorológicas, em médias e altas latitudes por todo globo terrestre.

Cedido pelo Dr. Ross J. Murray, o CYCLOC está totalmente em linguagem Fortran e foi originalmente desenvolvido pelos autores em ambiente UNIX/Sun e foi adaptado para ser compilado em LINUX/Intel com o compilador Intel Fortran Compiler 6.0 (ifc) disponível gratuitamente no endereço <http://www.intel.com>.

Existem três estágios principais no esquema: localização, rastreamento e análises estatísticas. Inicialmente há uma série de parâmetros essenciais que devem ser escolhidos de forma definitiva antes de cada rodada, referentes ao tempo (tempo inicial, final e intervalo de tempo entre os campos sucessivos), área de interesse (limites em latitude e longitude), informações relacionadas à projeção (número de pontos de grade, tamanho latitudinal e longitudinal da matriz de dados e hemisfério de interesse), tipo e característica do sistema a ser procurado (altas ou baixas, fechadas e/ou abertas, fortes e/ou fracas), além de informações referentes aos próprios dados (quantidade, unidade, fonte, resolução da grade).

Basicamente, a técnica de procura envolve uma comparação de pressões com pontos vizinhos, ou seja, um ciclone (anticiclone) é pré-definido num ponto no qual a pressão seja menor (maior) do que em qualquer um dos pontos a sua volta. Embora seja possível considerar até 24 pontos nas redondezas, os autores sugerem que normalmente seja usado um número entre 4 e 8 pontos para esta análise. Após alguns testes com este parâmetro, foi estabelecido o uso de 8 pontos vizinhos para varredura em todas as simulações realizadas neste estudo.

Primeiro, o esquema varre o conjunto de dados à procura dos 'possíveis' sistemas pela comparação com os pontos de grade vizinhos. Contudo, para evitar a inclusão de sistemas mais fracos, é utilizado um critério conhecido como teste de curvatura mínima que requer o cálculo de um valor médio mínimo do Laplaciano da pressão sobre uma pequena área em torno do centro analisado. Isso assegura que cada sistema possua um mínimo de vorticidade ciclônica (ou anticiclônica) geostrófica (dada pela equação 1) que é diretamente proporcional ao Laplaciano da pressão.

$$\zeta_g = \frac{1}{\rho f} \nabla^2 p \quad (1)$$

Este procedimento é aplicado no esquema através dos parâmetros relacionados aos



critérios de intensidade. Dentre esses parâmetros, o principal é o que quantifica o mínimo Laplaciano mediado numa área para sistemas fechados, cujo valor utilizado foi de 0,5 calculado num raio de 3° de latitude. Foram feitos vários testes de sensibilidade para determinar esses valores, bem como aqueles relacionados aos principais parâmetros que comandam o esquema na primeira etapa do programa. No entanto, para a maior parte dos parâmetros foram considerados os valores predeterminados pelos próprios autores do esquema.

Contudo, a técnica ainda não é satisfatória quando o objetivo é identificar sistemas cujas dimensões são da mesma ordem que o espaçamento entre pontos de grade, ou quando o espaçamento não é tão pequeno se comparado ao deslocamento esperado entre os tempos de análises. Com o intuito de amenizar estes problemas, o método usado torna-se um pouco mais complexo do que o descrito, já que envolve o uso de uma rotina diferencial, com pressões e derivadas da pressão sendo definidas por interpolação bicúbica. Esse esquema ainda permite a possibilidade da inclusão ou não de sistemas fechados (com pelo menos uma isóbara fechada) ou abertos (sem nenhuma isóbara fechada). Os centros de ciclones (anticiclones) fechados são localizados pela minimização (maximização) da pressão, enquanto os ciclones (anticiclones) abertos são identificados através de pontos de inflexão na superfície de pressão interpolada, e localizados minimizando-se (maximizando-se) o valor absoluto do gradiente de pressão. Neste trabalho são consideradas apenas as isóbaras fechadas.

A Figura 2.1, feita para sistemas de baixa pressão, esquematiza de modo mais claro o procedimento de procura em apenas uma dimensão ( $x$ ). As curvas representam, respectivamente, a função de pressão  $p(x)$ , o módulo da primeira derivada  $p_x(x)$ , e a segunda derivada  $p_{xx}(x)$  ou Laplaciano da função.

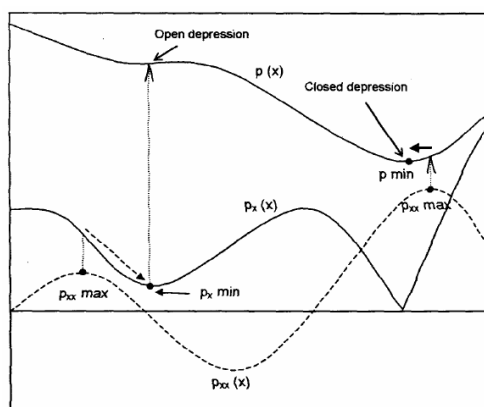


Figura 2.1 – Seção transversal da pressão e suas derivadas mostrando como o máximo de

$p_{xx}$  (ou o Laplaciano de  $p$  em duas dimensões) pode ser usado como pontos iniciais na pesquisa por ambas depressões abertas e fechadas. Um centro de baixa ficará normalmente próximo a seu associado máximo do Laplaciano, mas não será necessariamente coincidente com ele, salvo o caso de um sistema exatamente simétrico. Pra mostrar este princípio, o laplaciano aqui é representado como uma função contínua: na prática isto é suficiente para maximizar a partir dos valores dos pontos de grade.

O segundo estágio do MS consiste em traçar a trajetória de cada sistema desde o instante de seu primeiro aparecimento até sua dissipação. No entanto, esse procedimento não é tão simples quanto possa parecer, pois muitas vezes num período de 24 horas os centros de sistemas viajam distâncias cuja ordem é comparável as suas separações, e com isso, não se pode ter total certeza para onde o centro foi durante este período.

Para construir trajetórias, o programa estima a nova posição e a mudança de pressão de cada sistema em cada tempo de análise. O deslocamento é baseado numa ponderação do movimento durante o intervalo de tempo anterior e as velocidades médias climatológicas dos sistemas, ou seja,

$$r_{est}(t + \delta t) = r(t) + w_m \{r(t) - r(t - \delta t)\} + (1 - w_m) v_{av}(\phi(t)) \delta t + r_k \quad (2)$$

onde  $r$  é a posição estimada,  $t$  é o tempo,  $\delta t$  é o intervalo de tempo,  $v_{av}$  é a velocidade média climatológica do sistema,  $\Phi$  é a latitude e  $r_k$  é um termo de pequena magnitude que depende da trajetória do sistema. A Figura 3.2 esquematiza essa ponderação.

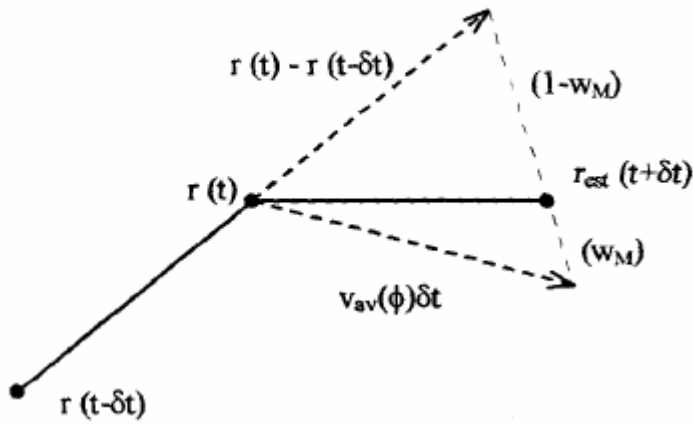


Figura 2.2 - Estimativa de uma nova posição ( $r_{est}(t+\delta t)$ ) baseada nos pesos  $w_m$  do deslocamento prévio,  $r(t)-r(t-\delta t)$ , e  $(1-w_m)$  do deslocamento baseado nas velocidades médias dos ciclones  $v_{av}(\phi)\delta t$  (Fonte: MS).

A estimativa da mudança de pressão é baseada na ponderação de tendência prévia e persistência, ou seja,

$$p_{est}(t + \delta t) = p(t) + w_p [p(t) - p(t - \delta t)] \quad (3)$$

Os fatores de ponderação ( $w_m$  e  $w_p$ ) quantificam a “memória” do movimento passado e da tendência de pressão incorporadas na estimativa. Em todas as simulações deste trabalho considerou-se  $w_p=0,0$  e  $w_m=1,0$ .

Em seguida, são calculadas as probabilidades de associação entre as posições previstas ( $m$ ) e as atuais no novo período de análise ( $n$ ), separadas por uma distância  $r_{mn} < r_c$  ( $r_c$  é o raio crítico cujo valor escolhido foi  $12^\circ$ ). A probabilidade de cada par baseia-se numa função de decréscimo da separação entre eles e a diferença de pressão central, ou seja, envolve a inclusão de uma componente de diferencial de pressão no raio:

$$r'_{mn} = \sqrt{r_{mn}^2 + \left( \frac{\delta p_{mn}}{k_{rp}} \right)^2} \quad (4)$$

onde  $k_{rp}$  é uma constante de ajuste.

Agora basta encontrar a combinação de associações mutuamente exclusivas para a qual o produto das probabilidades seja máximo. Na prática, as combinações mais prováveis de associação são encontradas maximizando-se a soma das funções das probabilidades, isto é,

$$P_{mn} = (P_{\max})_{mn} - \frac{r_{mn}^2}{r_c^2} \quad (5)$$

Essa função é máxima quando os sistemas são coincidentes ( $r_{mn} = 0$ ) e zero quando eles estão deslocados por um raio igual ou maior que o raio crítico. **P<sub>máx</sub>** assume um valor unitário para a associação envolvendo um sistema fechado, forte e não novo, mas emprega-se um valor menor de **P<sub>máx</sub>** para associações que incluem sistemas novos (**P<sub>new</sub>**), abertos (**P<sub>open</sub>**), ou ambos (**P<sub>new</sub> x P<sub>open</sub>**) com a finalidade de minimizar a probabilidade de suas ocorrências nas trajetórias.

Essa maximização é alcançada pela escolha de associações de sistemas previstos/novos em grupos. Um exemplo destas associações é ilustrado na Figura 3.6. Os valores de probabilidade são dados para os possíveis ajustes (setas) de posições previstas e novas. Em cada grupo a combinação de associações com a maior  $\Sigma P_{mn}$ , é selecionada. No Grupo 1 existem apenas dois ajustes possíveis, Ac+Ee ( $\Sigma P_{mn} = 0,6+0,5 = 1,1$ ) e Ec ( $\Sigma P_{mn} = 0,8$ ). A combinação que tiver a mais alta probabilidade é então selecionada (no caso Ac+Ee). A combinação resultante para o Grupo 2 é Ba+Cb+Fd ( $\Sigma P_{mn} = 1,9$ ). Depois de selecionar esses ajustes, conclui-se que os ciclones D e G são extintos e f constitui um novo elemento.

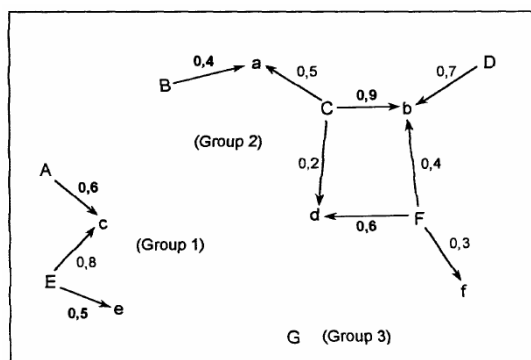


Figura 2.3 – Grupo de posições previstas (maiúsculas) e novas (minúsculas) de

ciclones. Os valores entre os pares indicam a probabilidade de associação (Fonte: MSa).

Quanto às análises estatísticas de trajetórias (terceiro estágio), o programa tem ainda a habilidade de calcular médias zonais e regionais da frequência (i.e., densidade e fluxo), velocidade, pressão central e tendência de pressão dos ciclones, e a frequência de ciclogêneses. A inclusão de um sistema nas estatísticas foi condicionada a sua sobrevivência para um período de vida mínimo de 24 horas e os cálculos das frequências foram feitos para faixas de latitude de 5°.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESULTADOS**

Neste capítulo apresenta-se uma avaliação do modelo Eta-HadCM3 (40 km) na simulação dos ciclones extratropicais no Atlântico Sul no clima presente (1961-1990), confrontando seus resultados com aqueles obtidos com os dados da Reanálise do NCEP/NCAR. Além disso, as projeções para o clima futuro (2011-2099) são analisadas.

#### **3.1 Clima Presente**

Neste item apresenta-se a comparação dos resultados obtidos com o modelo Eta-HadCM3 e os obtidos com os dados da Reanálise 1 para o período do clima presente (1961-1990). Parte desses resultados foram apresentados em Campani et al. (2011a) e Campani et al. (2011b), que encontram-se no Anexo.

##### **3.1.1 Climatologia Sazonal das Ciclogêneses**

Inicialmente foram contabilizados o número de ciclogêneses a cada ano desde 1961 até 1990 para os 4 membros do modelo Eta-HadCM3 (CTRL, LOW, MID e HIGH) e para a Reanálise do NCEP/NCAR. Na análise foram contabilizados somente os ciclones que permaneceram em quatro horários consecutivos (0, 6, 12 e 18 Z), ou seja, os ciclones que permaneceram configurados por pelo menos 18h seguidas. Foi realizada uma análise da quantidade média de ciclogêneses por ano durante o período de 1961 à 1990 separadamente por faixas de 5° de latitude (Figura 3.1).

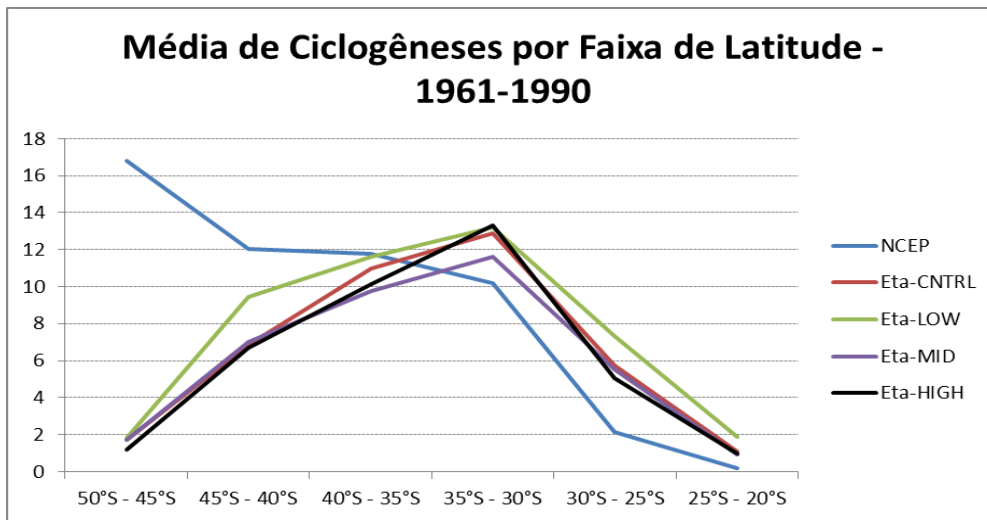


Figura 3.1 – Número médio de ciclogêneses durante o período de 1961-1990 por faixa de latitude para os dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR (azul) e das integrações do modelo Eta-HadCM3: membros “CNTRL” (vermelho), “LOW” (verde), “MID” (roxo) e “HIGH” (preto).

A partir da Figura 3.1 fica aparente o aumento na frequência de ocorrência de ciclogêneses das baixas para as altas latitudes nos dados da Reanálise (linha azul). Este aspecto não é representado adequadamente pelo modelo Eta-HadCM3 (demais linhas), que apresentam um máximo de ciclogênese entre 30 e 35°S. Isto pode estar relacionado com o fato do limite inferior do modelo ocorrer na latitude de 50,2°S, o que poderia impedir o desenvolvimento de ciclones próximo às suas fronteiras. Por outro lado, o modelo Eta-HadCM3 superestima o número de ciclogêneses nas baixas latitudes, principalmente no verão e outono (figuras sazonais por faixa de latitude não apresentadas).

As direções das trajetórias, consideradas a partir da posição inicial e final do ciclone, foram avaliadas para toda a região em estudo confrontando-se os resultados do modelo Eta-HadCM3 com os resultados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR (Figura 3.2). Verifica-se que a trajetória predominante dos ciclones é preferencial para leste, e a seguir para sudeste e tal aspecto é corretamente representado pelo modelo Eta\_HadCM3.

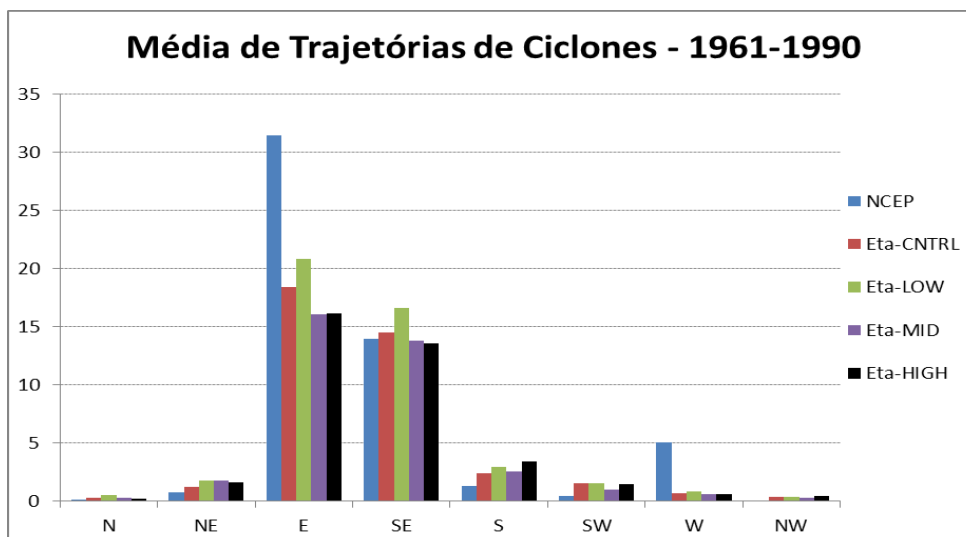


Figura 3.2 – Média de trajetórias dos ciclones por direção de 1961 a 1990, a partir dos dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR (azul) e das integrações do modelo Eta-HadCM3: membros “CNTRL” (vermelho), “LOW” (verde), “MID” (roxo) e “HIGH” (preto).

Analisando-se por faixas de latitude, verifica-se nos resultados obtidos com os dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR que os ciclones que se formam nas altas latitudes (entre 35° e 50°S) deslocam-se preferencialmente para leste e os ciclones das baixas latitudes (entre 20° e 35°S) movem-se em geral para sudeste (Figura 3.3 a). E este aspecto também é bem representado por todas as integrações do modelo Eta-HadCM3.

(a)

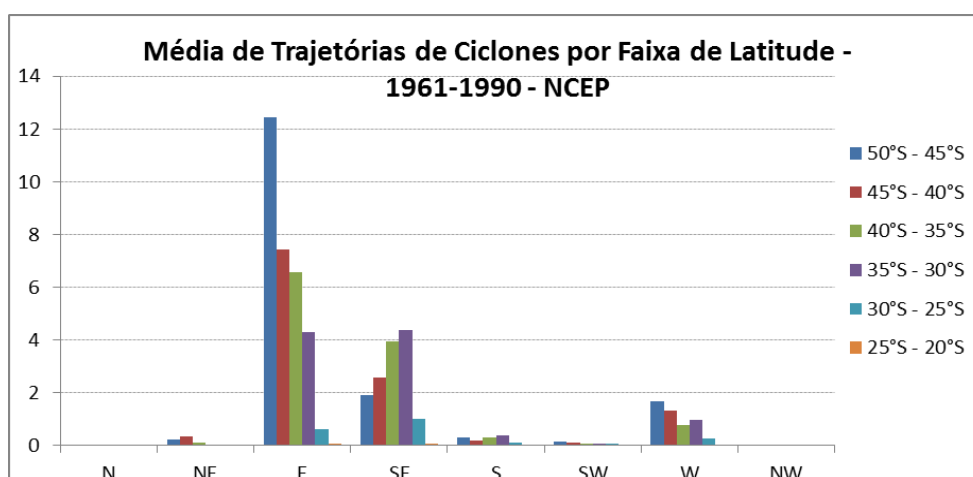
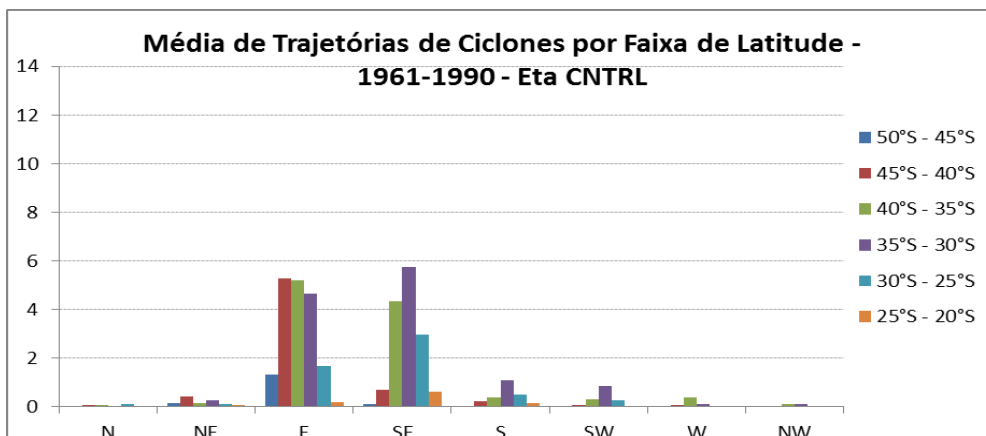


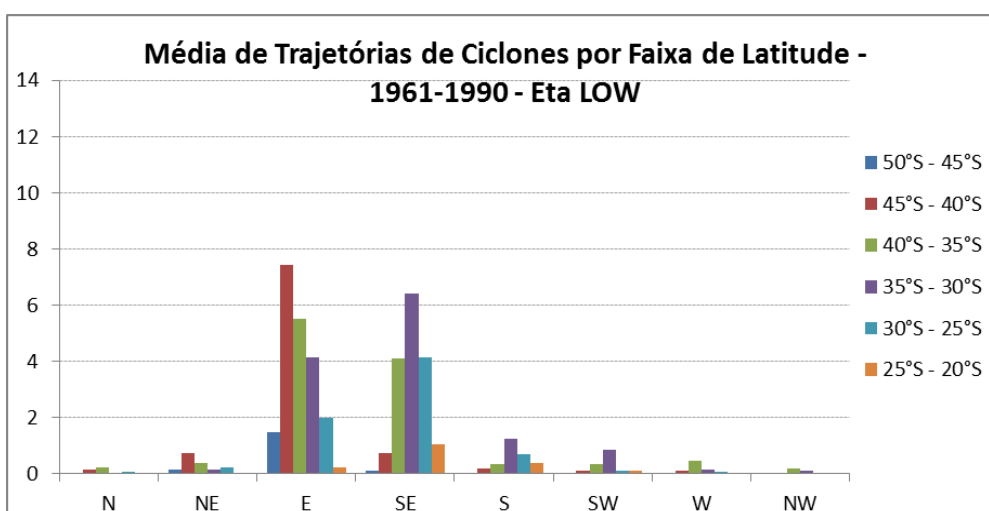
Figura 3.3 – Média de trajetórias dos ciclones por direção no período de 1961 a 1990, a partir dos dados: (a) da Reanálise 1 do NCEP/NCAR e das integrações do modelo Eta-HadCM3: (b) “CNTRL”, (c) “LOW”, (d) “MID” e (e) “HIGH”.



(b)



(c)



(d)

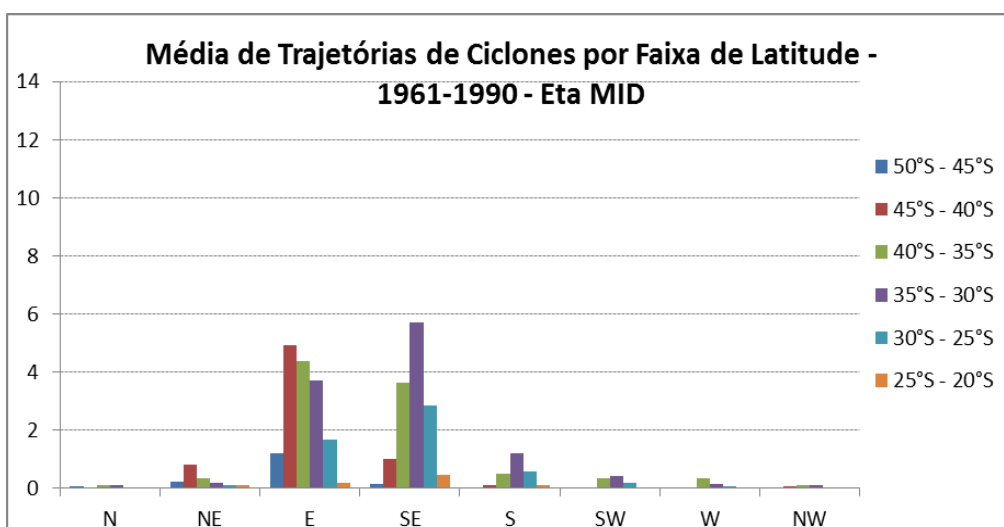


Figura 3.3 – Continuação.

(e)

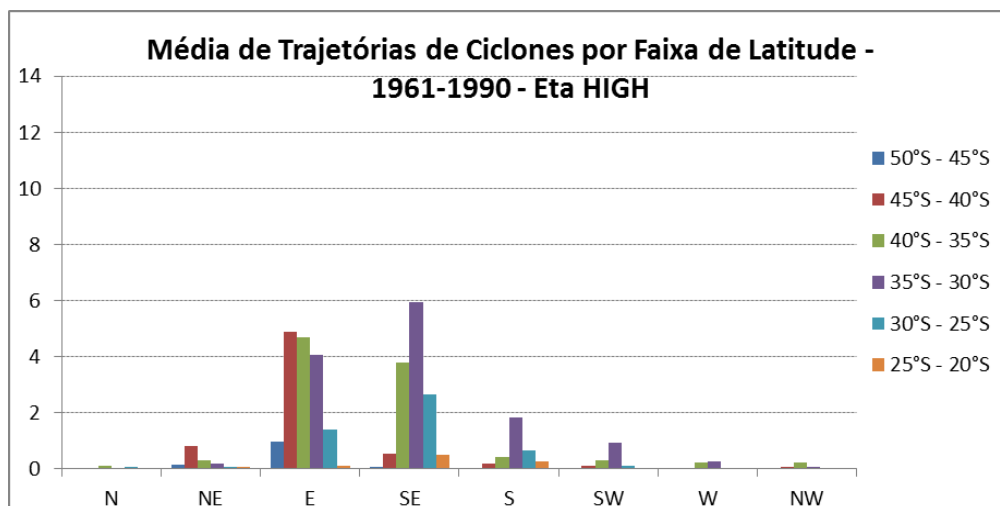


Figura 3.3 – Final.

A quantidade média por ano de ciclogêneses foi analisada sazonalmente e representada na Figura 3.4. Observa-se que para todo o conjunto de dados a quantidade média de ciclogêneses é maior no período do Inverno (JJA) e menor para os meses de verão (DJF). Os resultados a partir dos dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR mostram que a segunda maior ocorrência de ciclogêneses ocorrem nos meses da primavera (SON), no entanto, com o modelo Eta-HadCM3, este padrão não foi observado, representando uma segunda maior ocorrência nos meses do outono (MAM).

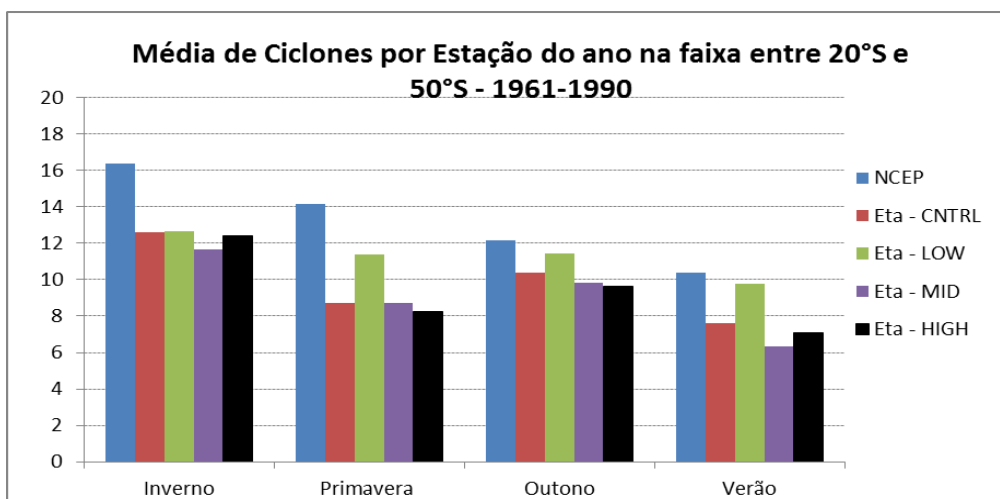


Figura 3.4 – Média de ciclones por estação do ano no período de 1961 a 1990, a partir de dos dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR e das integrações do modelo Eta-HadCM3: membros “CNTRL” (vermelho), “LOW” (verde), “MID” (roxo) e “HIGH” (preto).

### 3.1.2 Evolução Temporal das Ciclogêneses

A análise da evolução temporal das ciclogêneses de toda a grade (20° a 50° de latitude) foi realizada utilizando-se o total de ciclogêneses por ano para o período considerado de 1961-1990 para as integrações do modelo Eta-HadCM3 e para Reanálise (Figura 3.5).

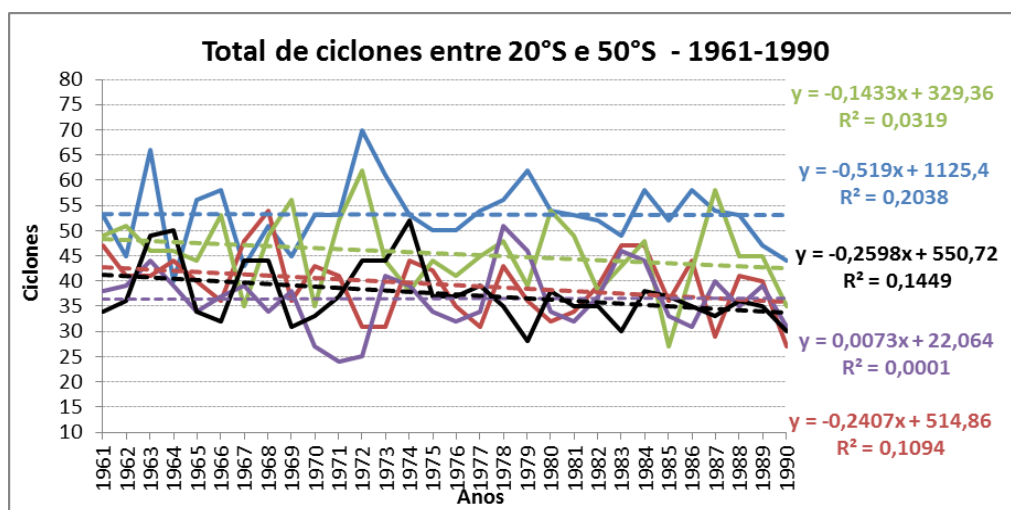


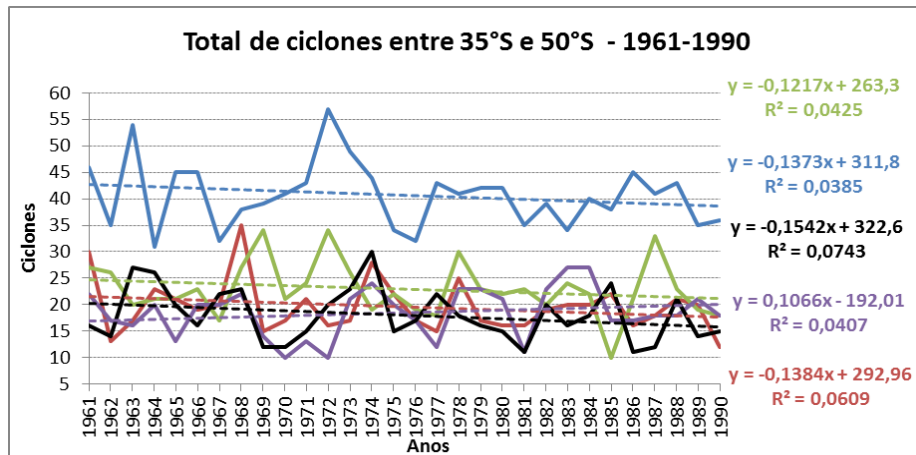
Figura 3.5 – Média de ciclones entre 20 e 50°S no período de 1961 a 1990, a partir dos dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR (linha azul) e dos dados das integrações do modelo Eta-HadCM3: membros “CNTRL” (linha vermelha), “LOW” (linha verde), “MID” (linha roxa) e “HIGH” (linha preta).

Nota-se na Figura 3.5 que há um ligeiro decréscimo representado pelo coeficiente linear negativo ajustado à curva dos dados da Reanálise 1, que é representado também pelas integrações do modelo Eta-HadCM3, exceto a integração “MID” que apresenta praticamente tendência nula. As linhas tracejadas representam o ajuste linear para as curvas apresentadas.

A Figura 3.6 apresenta uma análise separando duas faixas de latitudes: (a) 35 a 50°S e (b) 20 a 35°S. Observa-se uma tendência negativa representada pelos dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR para a faixa de latitude entre 35 e 50°S, o que é novamente acompanhada pelos dados do modelo Eta-HadCM3, exceto pela integração “MID”, que apresenta uma tendência leve de aumento no número de ocorrência de ciclones. No entanto, na faixa de latitude entre 20 e 35°S, uma tendência positiva é observada pelos dados da Reanálise 1, e

nenhuma das integrações do modelo Eta-HadCM3 conseguiu representar tal tendência positiva.

(a)



(b)

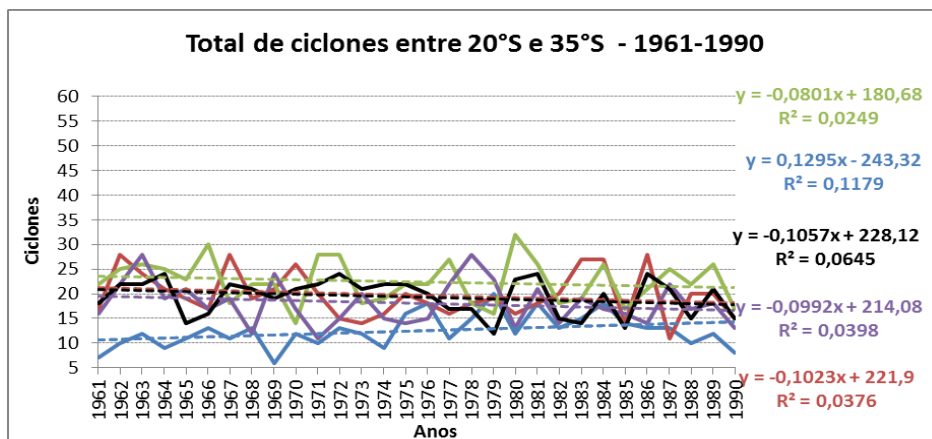


Figura 3.6 – Média de ciclones no período de 1961 a 1990, a partir de dos dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR (linha azul) e dos dados das integrações do modelo Eta-HadCM3, para os membros “CNTRL” (linha vermelha), “LOW” (linha verde), “MID” (linha roxa) e “HIGH” (linha preta) para as faixas de latitude: (a) 35 a 50°S e (b) 20 a 35°S.

### 3.2 Clima Futuro

Neste item são mostrados os resultados para o clima futuro, onde foram utilizados como dados de entrada as rodadas do modelo Eta-HadCM3 para o período de 2011 a 2099.

Observa-se na Figura 3.7, que representa a quantidade média de ciclones por faixa de latitude para cada integração do modelo Eta-HadCM3, o mesmo padrão verificado no clima presente (1961-1990) com um máximo de ciclones na faixa entre 30 e 35°S. A maior quantidade de ciclones em praticamente todas as faixas de latitude ocorre na integração “LOW”, sendo bem pequena a variação entre as integrações.

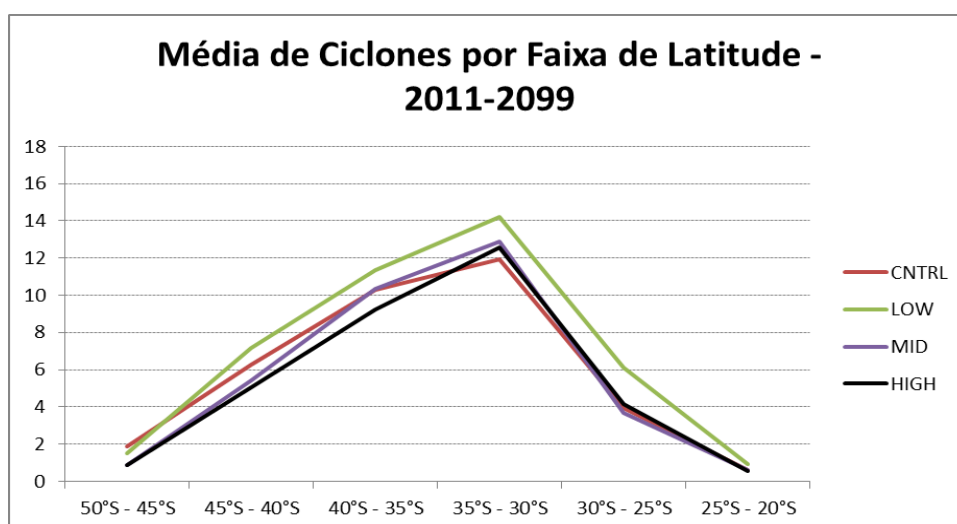


Figura 3.7 – Média de ciclones por faixa de latitude no período de 2011 a 2099, a partir dos dados das integrações do modelo Eta-HadCM3: “CNTRL” (vermelho), “LOW” (verde), “MID” (roxo) e “HIGH” (preto).

A Figura 3.8 mostra a média do número de trajetórias de ciclones para o período de 2011 a 2099 (clima futuro) para a grade total compreendida entre 20 e 50°S. Percebe-se que a predominância de trajetórias verificada para o clima futuro, assim como no clima presente, é para leste e depois para sudeste.

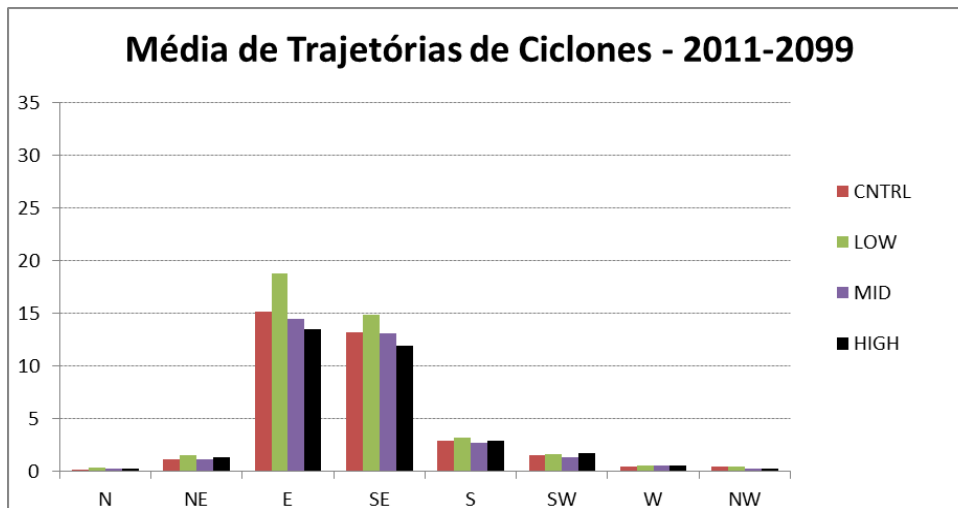


Figura 3.8 – Média de trajetórias dos ciclones por direção 2011 a 2099, a partir dos dados das integrações do modelo Eta-HadCM3: “CNTRL” (vermelho), “LOW” (verde), “MID” (roxo) e “HIGH” (preto).

Nota-se na Figura 3.9 a mesma tendência na direção das trajetórias dos ciclones encontrada para o tempo presente (1961 a 1990): para Leste nas latitudes mais altas, entre 35 e 50°S e para Sudeste nas latitudes mais baixas, entre 20 e 35°S.

(a)

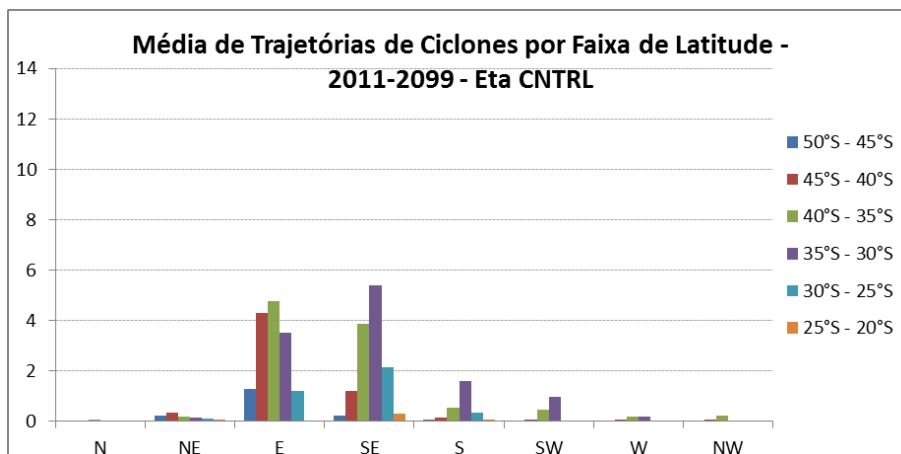
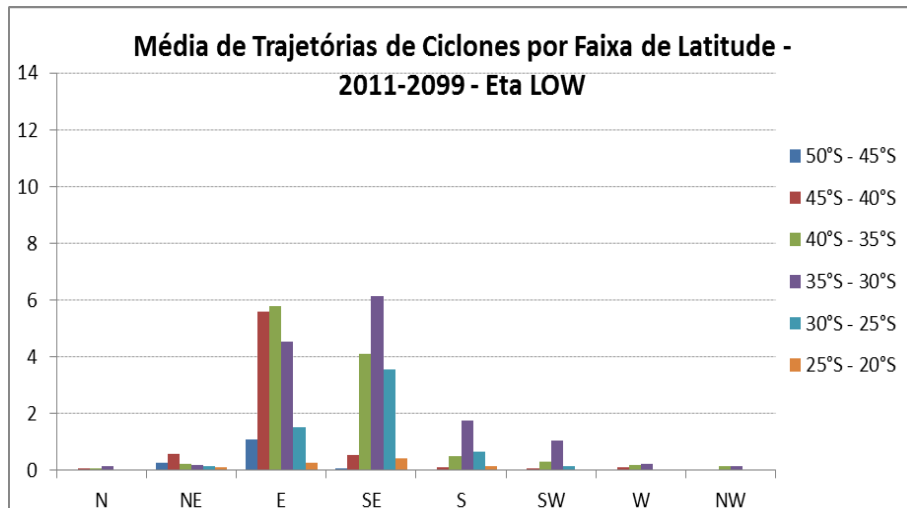
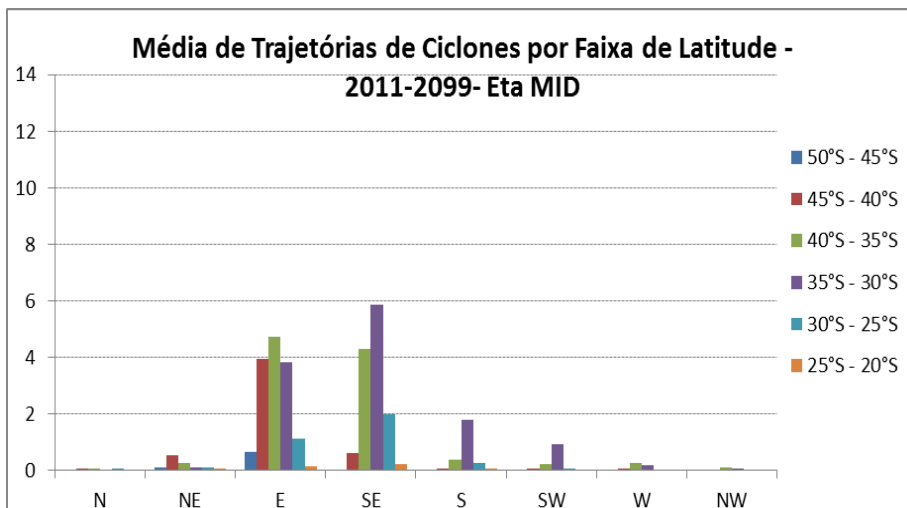


Figura 3.9 – Média de trajetórias predominantes dos ciclones para o período de 2011-2099 por direção e por faixas de latitude para as integrações do modelo Eta-HadCM3: (a) “CNTRL”, (b) “LOW”, (c) “MID” e (d) “HIGH”.

(b)



(c)



(d)

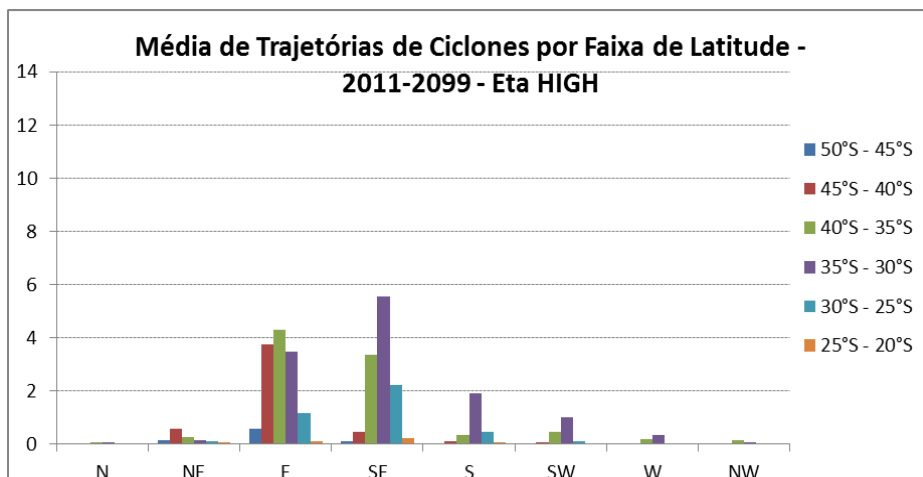


Figura 3.9 – Final.

A Figura 3.10 mostra a evolução temporal da quantidade de ciclones por ano para a faixa entre 35-50°S (Figura 3.10 a) e entre 20-35°S (Figura 3.10 b), para as integrações do modelo Eta-HadCM3 no clima futuro (2011 a 2099).

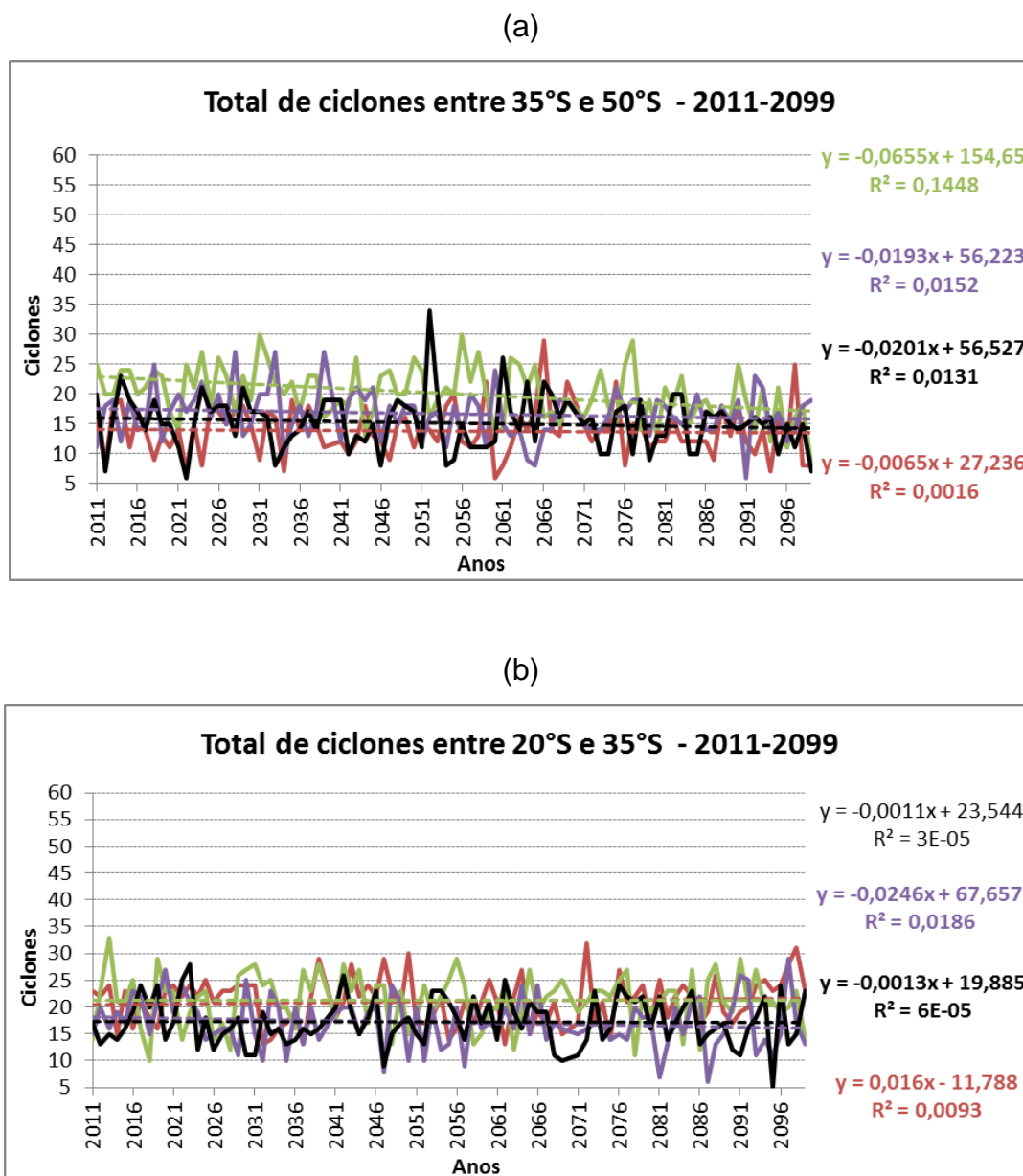


Figura 3.10 – Média de ciclones no período de 2011 a 2099, a partir dos dados das integrações do modelo Eta-HadCM3, “CNTRL” (linha vermelha), “LOW” (linha verde), “MID” (linha roxa) e “HIGH” (linha preta) para as faixas de latitude: (a) 35 a 50°S e (b) 20 a 35°S.

Nota-se que na Figura 3.10 (a), para ambas as séries, uma tendência de redução na ocorrência de ciclones. Contudo na Figura 3.9 (b), um aumento é indicado pelos resultados da integração “CNTRL” na faixa de latitude entre 20 e 35°S.



## CAPÍTULO 4

### CONCLUSÕES E ETAPAS FUTURAS

Neste trabalho foi elaborada uma avaliação da frequência de ocorrência de ciclogêneses e das direções das trajetórias dos ciclones na região do Atlântico Sul produzidas pelo modelo Eta-HadCM3 no clima presente (1961-1990), a partir dos dados gerados pela Reanálise 1 do NCEP/NCAR.

A maior (menor) frequência de ocorrência de ciclogêneses, indicada pela Reanálise ocorre no inverno (verão) e tal aspecto é corretamente representado pelo modelo Eta\_HadCM3. Os resultados a partir da Reanálise 1 do NCEP/NCAR indicam que a frequência de ocorrência da ciclogênese aumenta em geral com aumento da latitude, porém o modelo Eta subestima o número de ciclogêneses nas altas latitudes. No modelo Eta-HadCM3 ocorre um máximo de ciclogênese entre 35-30°S e um decaimento em direção as bordas sul e norte. Este problema pode estar relacionado com o fato do modelo ter sido configurado apenas até a latitude 50,2°S. Por outro lado o modelo Eta\_HadCM3 superestima levemente o número de ciclogêneses nas baixas latitudes e esta superestimativa é mais pronunciada no verão e outono do que no inverno e primavera.

Com relação à direção das trajetórias dos ciclones, tanto o modelo Eta quanto os dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR indicaram que a direção predominante para todas as estações, considerando-se todas as faixas de latitude, é de leste (E), ou seja, os ciclones dirigem-se para leste, e em segundo lugar para sudeste (SE). Entre 20 e 35°S os ciclones em geral movem-se para SE e nas latitudes mais altas (entre 35 e 50°S) a direção predominante é E. Nota-se baixíssima frequência de ocorrência de ciclones dirigindo-se para noroeste (NW), norte (N), oeste (W) e sudoeste (SW).

A análise da quantidade de ciclogêneses ao longo dos anos analisados (1961 a 1990) indica tendência de aumento entre 20 e 35°S e nas latitudes mais altas (entre 35 e 50°S) há uma tendência de redução da ciclogênese. No entanto o modelo Eta-HadCM3 não conseguiu representar bem a tendência de aumento da ciclogênese nas baixas latitudes.

Sobre o clima futuro, nota-se que há uma tendência para a trajetória predominante dos ciclones continuar sendo para leste entre 35-50°S e para sudeste entre 20-35°S.

Com relação à tendência nas frequências de ocorrências das ciclogêneses do modelo Eta\_HadCM3 para o futuro nota-se a mesma tendência observada no clima presente, de redução tanto para baixas quanto para altas latitudes. Contudo, como o modelo não está captando corretamente a tendência de aumento da ciclogênese nas altas latitudes, tal resultado para o futuro deve ser utilizado com cautela.

Nas etapas futuras deste trabalho o esquema CYCLOC será integrado com os dados do modelo HadCM3 a fim de investigar se o problema da subestimativa (leve superestimativa) de ciclogêneses nas altas (baixas) latitudes pelo modelo Eta-HadCM3 está sendo provocado pelo modelo global (HadCM3).

## BIBLIOGRAFIA

- ARAKAWA, A. LAMB, V. R., 1977: Computational design of the basic dynamical process of the UCLA generation circulation model. *Methods in Computational Physics*, v. 17, p. 173-265.
- BLACK, T. L., 1994: The new NMC mesoscale Eta model. Description and forecast examples. *Weather and Forecasting*, v. 9, p. 265-278.
- CAMPANI, A. M. ET AL. 2011a: Impacto das mudanças climáticas sobre comportamento dos ciclones extratropicais no Atlântico Sul. Resumo apresentado nos Anais da IV Conferência Regional Sobre Mudanças Globais. São Paulo.
- CAMPANI, A. M. ET AL. 2011b: Representação dos ciclones extratropicais no Atlântico Sul pelo Modelo Eta Climático: Avaliação do clima presente (1961-1990) e projeções futuras (2011-2099). Simpósio Internacional de Climatologia, 2011, João Pessoa, PB. Outubro 2011.
- CHOU, S. C., 1986: Modelo regional Eta. *Climanálise Especial Edição Comemorativa de 10 anos*. São José dos Campos.
- CHOU, S. C. ET AL. 2011: Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Climate Dynamics*. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8.
- GRELL, G. A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly Weather Review*, 121, 764-787.
- GUSTAFSSON, M.E.R., 1997: Raised levels of marine aerosol deposition owing to increased storm frequency: A cause of forest decline in southern Sweden? *Agric. For. Meteorol.*, 84, 169-177.
- IPCC, 2007: CLIMATE CHANGE 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GADIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JONAWIAK, J.; MO, K.C.; ROPELEWISK, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLD, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D., 1996: The NCEP/NCAR 40- Year Reanalysis Project. *Bulletin of the Meteorological Society*, v.77, p. 437-471.

KANAMITSU, M., J.C. ALPERT, K. A. CAMPANA, P. M. CAPLAN, D. G. DEAVEN, M. IREDELL, B. KATZ, H. L. PAN, J. SELA E G.H. WHITE, 1991: Recent changes implemented into the global forecast system at NCEP. *Weather and Forecasting*, 6, 1-12.

LAMBERT, S. J., 1996: Intense extratropical Northern Hemisphere winter cyclone events: 1989-1991. *Journal of Geophysical Research*, 101, 21319-21325.

MCCABE, G. J., M. P. CLARK, M. C. SERREZE, 2001: Trends in Northern Hemisphere surface cyclone frequency and intensity. *J. Clim.*, 14, 2763-2768.

MESINGER, F.; JANJIC, Z. I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G., 1988: The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. *Monthly Weather Review*, v. 116, p. 1493-1518.

WANG, X. L., V. R. SWAIL, F. W. ZWIERS, 2006: Climatology and changes of extratropical storm tracks and cyclone activity: Comparison of ERA-40 with NCEP/NCAR Reanalysis for 1958-2001. *J. Clim.*, 19, 3145-3166.

## ANEXOS

### I) PUBLICAÇÃO EM CONFERÊNCIA

Apresentado na IV Conferência Regional de Mudanças Climáticas Globais:

- CAMPANI, A. M, DEREZYNSKI, C.P., CHOU S.C. 2011: Impacto das mudanças climáticas sobre o comportamento dos ciclones extratropicais no Atlântico Sul. Anais da IV Conferência Regional Sobre Mudanças Globais. São Paulo, SP. Abril 2011.

#### Impacto das mudanças climáticas sobre o comportamento dos ciclones extratropicais no Atlântico Sul

Ariane Campani Matos<sup>1</sup>, Claudine Dereczynski<sup>1</sup>, Chou Sin Chan<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>UFRJ - Brazil - Rio de Janeiro – ariane.campani@gmail.com

<sup>2</sup>DMD/CPTEC/INPE

Os processos ciclogênicos causam grande impacto sobre a população, provocando chuvas fortes, ventos intensos e ressacas na costa. O comportamento de tais eventos no futuro poderá ser afetado pelas mudanças climáticas que já estão sendo observadas atualmente. Neste trabalho são investigadas as tendências de aumento ou redução sazonais na frequência de ocorrência dos ciclones no clima presente, a partir de dados de pressão ao nível médio do mar da Reanálise 1 do NCEP para o período de 1961 a 1990. A seguir avalia-se a performance do modelo Eta climático para representar os mesmos aspectos observados no clima presente. O objetivo é, com o conhecimento do comportamento do modelo Eta com relação à configuração de ciclones no Atlântico Sul no clima presente, examinar as saídas deste modelo para o clima futuro (2011-2099). A técnica de detecção automática de ciclones (CYCLOC- Simmonds e Murray, 1999) foi adaptada para ser utilizada empregando como dados de entrada a Reanálise e o modelo Eta climático para o mesmo período (1961-1990). Desta forma, foi gerada uma estatística da frequência de ocorrência dos ciclones e de suas trajetórias preferenciais, considerando somente os que permaneceram por no mínimo 4 horários consecutivos. Os resultados mostraram que o modelo Eta climático consegue representar bem: a maior ocorrência de ciclogêneses no inverno (JJA) e menor no verão (DJF); a trajetória dos ciclones que é predominantemente para sudeste em 20 e 40°S e para

leste em 40 e 50°S; a tendência no clima presente estatística mente significativa, ao nível de 95%, de aumento de ciclogêneses em 30 e 40°S no outono e a leve tendência de redução da ciclogênese em 40-50°S na primavera. Como o modelo Eta conseguiu representar grande parte das tendências observadas com os dados do NCEP, este será utilizado para descrever a tendência futura do comportamento dos ciclones no Atlântico Sul.

*Palavras-Chave:* ciclogêneses, trajetórias, tendências; Atlântico Sul.

*Financiamento:* CNPq.

## II) PUBLICAÇÃO EM SIMPÓSIO

Apresentado no IV Simpósio de Climatologia:

- CAMPANI, A., CHOU, S.C., DEREZYNSKI, C. P., PALMEIRA, R. M. J. 2011:  
Representação dos ciclones extratropicais no Atlântico Sul pelo Modelo Eta Climático: Avaliação do clima presente (1961-1990) e projeções futuras (2011-2099). Simpósio Internacional de Climatologia, 2011, João Pessoa, PB. Outubro 2011.

### **REPRESENTAÇÃO DOS CICLONES EXTRATROPICAIS NO ATLÂNTICO SUL PELO MODELO ETA CLIMÁTICO: AVALIAÇÃO DO CLIMA PRESENTE (1961-1990) E PROJEÇÕES FUTURAS (2011-2099)**

Ariane Campani Matos<sup>1</sup>, Claudine Dereczynski<sup>1</sup>, Ronaldo Palmeira<sup>1</sup>, Chou Sin Chan<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>UFRJ - Brazil - Rio de Janeiro – ariane.campani@gmail.com3

<sup>2</sup>DMD/CPTEC/INPE

**RESUMO:** Neste trabalho primeiramente investiga-se o comportamento dos ciclones formados sobre a América do Sul e oceano Atlântico adjacente no clima presente, a partir de dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR para o período de 1961 a 1990. A seguir avalia-se a desempenho do Modelo Eta Climático do INPE (Eta-HadCM3) para representar os mesmos aspectos observados no clima presente (1961-1990) e também as tendências para o clima futuro (2011-2099). Os resultados indicam uma tendência predominante de deslocamento dos ciclones para Sudeste (Leste) nas baixas (altas) latitudes no clima presente, que é bem

representado pelo modelo Eta-HadCM3 e a mesma tendência nas projeções futuras. Para o clima presente há uma ligeira tendência de redução da ocorrência de ciclogêneses na faixa de 45-50°S, que é percebida corretamente pelo modelo Eta, porém, na faixa entre 20 e 45°S, o modelo não indica a mesma tendência positiva verificada com os dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR. O modelo representa adequadamente uma maior (menor) frequência de ciclogêneses no inverno (verão).

**ABSTRACT:** In this paper it is first investigated the behavior of cyclones formed over South America and Atlantic Ocean from NCEP/NCAR Reanalysis for the period 1961 to 1990. Next we assess the Eta-HadCM3 model's performance to represent the same features observed in the present climate (1961-1990) and also the trends for future climate (2011-2099). The results indicate for the present and future climates the same direction of displacement: to the Southeast (East) at low (high) latitudes. For the present climate there is a slight tendency of cyclogenesis reduction at 45-50°S, which is correctly represented by Eta-HadCM3 model, however, at 20-45°S, the model does not indicate the same observed increasing trend. Eta-hadCM3 adequately represents a higher (lower) frequency of cyclogenesis in winter (summer).

## INTRODUÇÃO

Grandes esforços são empreendidos na compreensão dos fenômenos atmosféricos extremos, que atingem milhões de pessoas em todo planeta. Dentre esses fenômenos de maior impacto sobre a população, os processos ciclogenéticos recebem atenção especial devido à possibilidade de formação de intensos vórtices acompanhados de fortes chuvas e ventos intensos. Esses sistemas podem interferir de modo significativo nas condições do mar, aumentando de forma perigosa as ondas junto à costa de diversos países ao redor do mundo.

O objetivo deste trabalho é, através de comparações das saídas do Modelo Eta climático do INPE (Chou et al., 2011 e Marengo et al., 2011) com a Reanálise 1 do NCEP/NCAR (Kalnay et al, 1996), verificar o potencial do modelo Eta climático para reproduzir a frequência de ocorrência dos ciclones, suas trajetórias e as tendências de aumento e/ou redução da frequência de ocorrência dos eventos no clima presente (1961-1990), na região da América do Sul e oceano Atlântico adjacente. A partir daí, considera-se o uso e as incertezas destas simulações em estudos de projeções para o clima futuro (2011-2099).

## **METODOLOGIA E DADOS**

O modelo regional Eta do CPTEC/INPE foi adaptado para realizar integrações de escala de décadas para estudos de mudanças climáticas relacionadas a diferentes níveis de concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico utilizando-se como condição de contorno lateral e inferior as projeções de cenário A1B do IPCC geradas pelo modelo HadCM3 do Hadley Centre (Eta-HadCM3), com resolução de 40 km sobre a América do Sul. Os campos de pressão atmosférica ao nível médio do mar (PNMM) geradas pelo modelo Eta-HadCM3 e pela Reanálise 1 do NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996) a cada 6 Z foram utilizados como dados de entrada num esquema numérico que acompanha os centros dos ciclones sobre a América do Sul e oceano Atlântico adjacente para o período 1961-1990 (clima presente). Tal esquema numérico, denominado CYCLOC (Murray e Simmonds, 1991), tem a função de localizar centros de alta e baixa pressão em qualquer nível na atmosfera. No clima futuro (2011-2099) examina-se as tendências de aumento/redução do número de ciclogêneses configuradas pelo modelo Eta climático.

## **RESULTADOS**

Os resultados preliminares para o clima presente indicam que o modelo Eta-HadCM3 representa adequadamente a maior ocorrência de ciclogêneses no inverno e menor no verão como pode ser visto na Figura 1. Contudo, o modelo subestima a frequência de ocorrência nas altas latitudes, o que pode estar associado ao seu domínio sul, que se estende apenas até a latitude de 60° S. A direção das trajetórias dos ciclones, predominantemente para sudeste entre 20 e 35°S (Figura 2 a) e para leste entre 35 e 50°S (Figura 2 b) é bem representada pelo modelo Eta-HadCM3. A análise da evolução temporal das ciclogêneses foi realizada utilizando o total de ciclogêneses por ano para o período considerado (1961-1990) para o modelo Eta-HadCM3 e para Reanálise 1, para as faixas de latitude de 45-50°S e 20-45°S (Figura 3). Observa-se que na faixa de 45-50°S há uma leve tendência de redução na quantidade de ciclogêneses que é representada pelo modelo Eta-HadCM3, no entanto, na faixa de 45-20°S, a tendência é positiva, indicando aumento na quantidade de ciclogêneses, e que não foi captada pelo modelo.

Os resultados para o clima futuro em relação a preferência de deslocamento das trajetórias dos ciclones, indicam uma permanência de deslocamento para SE (E) dos ciclones nas baixas (altas) latitudes (Figura 4). A Figura 5 mostra a evolução temporal da quantidade de ciclones por ano para a faixa entre 45-50°S (Figura 5 a) e entre 20-45°S (Figura 5 b), para o clima presente da Reanálise 1 do NCEP/NCAR e para o modelo Eta-HadCM3 no clima presente e futuro. Nota-se na Figura 5 (a), para ambas as séries, uma



tendência de redução na ocorrência de ciclones. Contudo na Figura 5 (b), a redução do número de ciclogêneses projetada pelo modelo Eta-HadCM3 para o futuro não coincide com a tendência apontada pela Reanálise do NCEP/NCAR .

## **CONCLUSÕES**

A maior (menor) frequência de ocorrência de ciclogêneses, indicada pela Reanálise ocorre no inverno (verão) e tal aspecto é corretamente representado pelo modelo Eta\_HadCM3. Os resultados a partir da Reanálise indicam que a frequência de ocorrência da ciclogênese aumenta em geral com aumento da latitude, porém o modelo Eta-HadCM3 não consegue representar o maior número de ciclones nas altas latitudes, o que pode estar associado ao seu domínio sul, que se estende apenas até a latitude de 60° S. Com relação à direção das trajetórias dos ciclones, tanto o modelo Eta-HadCM3 quanto os dados da Reanálise indicaram que a direção predominante para todas as estações, considerando-se todas as faixas de latitude, é de leste (E), ou seja, os ciclones dirigem-se para leste, e em segundo lugar para sudeste (SE). Entre 20 e 35°S os ciclones em geral movem-se para SE e nas latitudes mais altas (entre 35 e 50°S) a direção predominante é E. A série temporal da frequência de ocorrência no período 1961 a 1990 indica tendência de aumento entre 20 e 45°S e nas latitudes mais altas (entre 45 e 50°S) há uma tendência de redução da ciclogênese. No entanto o modelo Eta-HadCM3 não conseguiu representar a tendência de aumento da ciclogênese nas baixas latitudes. Sobre o clima futuro, nota-se que há uma tendência para a trajetória predominante dos ciclones continuar sendo para leste entre 35-50°S e para sudeste entre 20-35°S. Com relação à tendência nas frequências de ocorrências das ciclogêneses do modelo Eta\_HadCM3 para o futuro nota-se a mesma tendência observada no clima presente, de redução da frequência de ocorrência de ciclogêneses para baixas latitudes.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq/INPE, pela bolsa PIBIC concedida desde agosto de 2009.

## **REFERÊNCIAS**

CHOU, S. C. et al. 2011: Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. Climate Dynamics. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI,

W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K.C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP/ NCAR 40-year reanalysis project. Bull. Amer. Meteorol. Soc. , v.77, p. 437-471, 1996.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C; KAY G.; ALVES, L.; PESQUERO, J. F SOARES, W.R; SANTOS, D.C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and and the Parana River Basins. Climate Dynamics. 2011. Aceito

MURRAY, R. J.; SIMMONDS, I. A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data. Part I: development and operation of the scheme. Aust. Met. Mag., 39, 155-166, 1991

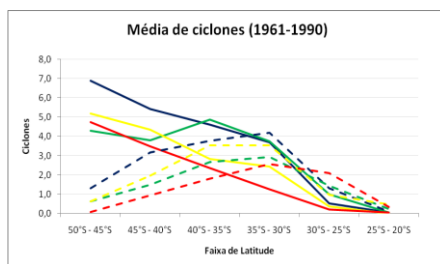


Figura 1- Número médio de ciclogêneses durante o período de 1961-1990 por faixa de latitude para inverno (azul), primavera (verde), verão (vermelho) e outono (amarelo), obtido a partir dos dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR (linha contínua) e os dados do modelo Eta (linha tracejada).

(a)

(b)

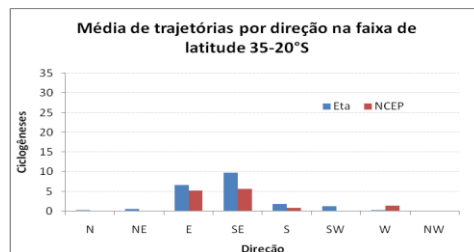
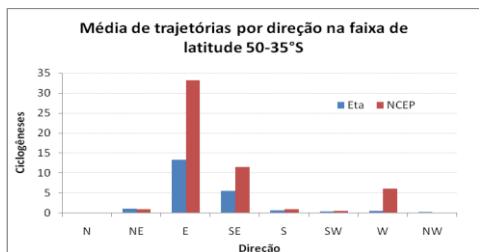


Figura 2 - Média de trajetórias dos ciclones por direção no período de 1961 a 1990, a partir de dos dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR (vermelho) e dos dados do modelo Eta (azul) para as faixas de latitude: (a) 50-35°S e (b) 35-20°S.

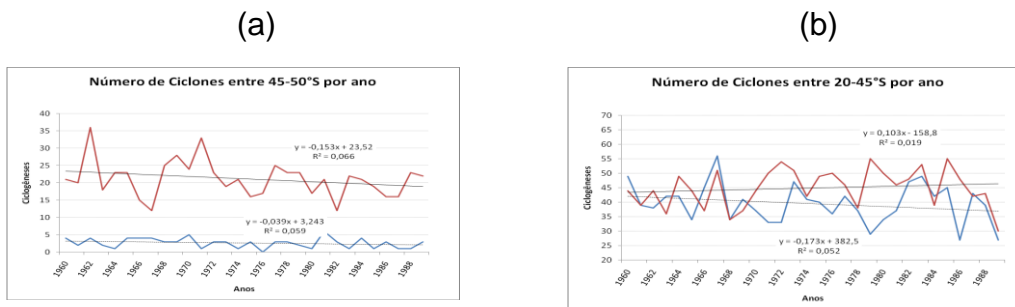


Figura 3 - Total de ciclones anualmente para o período de 1961 a 1990, a partir dos dados da Reanálise 1 do NCEP/NCAR (vermelho) e do modelo Eta-HadCM3 (azul) para as faixas de latitude (a) de 45-50°S e (b) 20°S a 45°S.

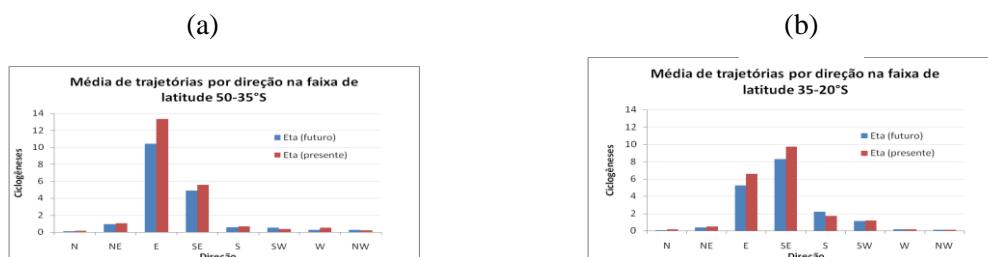


Figura 4 – Média de trajetórias predominantes por direção dos ciclones para o período de 1961-1990 (Eta presente) e de 2011-2099 (Eta futuro) para as faixas de latitude: (a) 50-35° S e (b) 35-20°S.

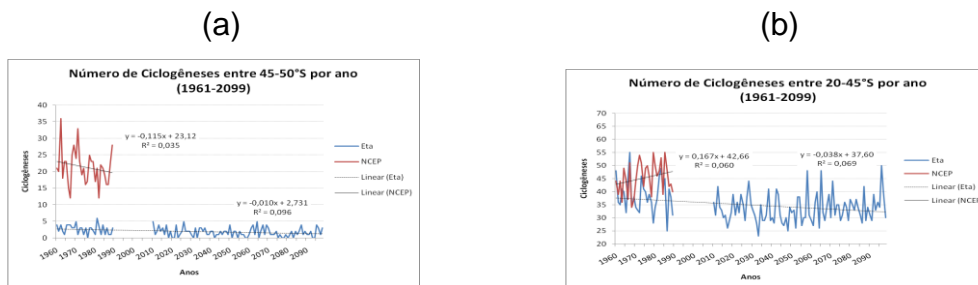


Figura 5 – Evolução temporal da frequência de ocorrência de ciclones para o modelo Eta-HadCM3 (clima presente e futuro) e para os dados da Reanálise 1 (período de 1961-1990) para (a) 45-50°S e (b) 20-45°S.