



Ciclones Extratropicais no Atlântico Sul: Clima Presente e Projeções Futuras

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

Ana Carolina Rosas Reis (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: acarol.meteoro@gmail.com

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

E-mail: chou@cptec.inpe.br

COLABORADORA

Dra. Claudine Pereira Dereczynski (IGEO/UFRJ)

E-mail: claudine@acd.ufrj.br

Julho de 2014

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 CONCEITUAÇÃO E MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE CICLONES	5
2.2 CLASSIFICAÇÃO DE CICLONES	6
2.3 CLIMATOLOGIA DE CICLOGÊNESE.....	7
3. DADOS E METODOLOGIA	12
3.1 O PROGRAMA CYCLOC	12
4. RESULTADOS	18
4.1 AVALIAÇÃO DO MODELO MIROC EM COMPARAÇÃO COM A REANÁLISE NCEP/NCAR	18
4.2 CLIMATOLOGIA DE CICLOGÊNESES UTILIZANDO O ESQUEMA CYCLOC – COMPARAÇÃO MIROC E CFSR	23
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	27
BIBLIOGRAFIA	28

1. INTRODUÇÃO

O estudo da dinâmica da atmosfera responsável pela formação de ciclones extratropicais é um dos principais interesses da meteorologia. Isto se deve ao fato, tanto do papel energético (transporte de calor, umidade e quantidade de movimento) que esses sistemas desempenham na atmosfera, quanto dos seus impactos. Ciclones extratropicais estão associados a profundos vórtices, fortes tempestades e intensos ventos, além de severas ressacas nas regiões costeiras que estão sob a influência desses sistemas. Além disso, a navegação também fica comprometida durante a passagem de um ciclone, visto seu grande deslocamento marítimo. Portanto, a compreensão de tais fenômenos atmosféricos extremos é útil no sentido de prevenir e mitigar seus efeitos.

De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação *Fourth Assessment Report – AR4* do *Intergovernmental 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.

O objetivo deste projeto é investigar possíveis tendências de aumento ou redução na quantidade de ciclogêneses e possíveis mudanças na trajetória dos ciclones no Atlântico Sul no clima futuro (até 2100), a fim de contribuir para estudos de impacto, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas. Para isto, as integrações do modelo Eta (Mesinger et al., 2012) do INPE em uma versão climática, com 20 km de resolução horizontal, aninhado ao modelo global acoplado “Model for Interdisciplinary Research on Climate” (MIROC) do Center for Climate Systems Research (CCSR) da Universidade de Tokyo (Japão), será utilizado.

Nesta primeira fase do trabalho a climatologia sazonal dos ciclones obtida com o modelo MIROC é confrontada com a reanálise *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) - *National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR), a fim de avaliar a performance do MIROC para representar o comportamento dos ciclones no clima presente (1985-2006). Essa etapa é de grande importância para aumentar a confiabilidade nas projeções geradas pelo modelo MIROC até 2100. Posteriormente, a avaliação será estendida às simulações do clima presente com a integração do modelo Eta (MESINGER et al., 2012) do INPE em uma versão climática, com 20 km de resolução horizontal, aninhado ao modelo

MIROC, aqui denominada Eta-MIROC.

O esquema numérico para detecção dos ciclones utilizado neste trabalho denomina-se CYCLOC (MURRAY, SIMMONDS; 1991). Tal esquema, totalmente automatizado, tem a função de 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.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITUAÇÃO E MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE CICLONES

O termo ciclone é usado para fazer referência a sistemas de tempo com movimentos circulatorios associados a áreas de baixa pressão na superfície (PETERSEN, 1956). A nomenclatura extratropical está relacionada a área de gênese do sistema, que distingue os ciclones formados nos trópicos daqueles formados nos extratropicais. O processo de formação e intensificação de um ciclone é chamado de ciclogênese e o processo de dissipação é chamado de ciclólise. Somente após o fim da primeira Guerra Mundial, o primeiro modelo conceitual realístico de ciclones extratropicais foi descrito por Bjerknes (1919) e Bjerknes e Solberg (1922) e continua sendo aceito até os dias atuais.

O primeiro modelo conceitual de Bjerknes (1919) analisou um grande número de ciclones extratropicais a partir de observações em uma densa rede de estações meteorológicas na Escandinávia e resumiu os resultados que delineava uma estrutura típica de ciclones móveis e indicava os processos dinâmicos fundamentais. Bjerknes descreveu duas regiões de convergência de massa, chamadas de *squall line* e *steering line*, as quais no seu trabalho posterior com Solberg (1922) foram denominadas de frente fria e frente quente, respectivamente. Neste último, os autores descreveram uma região de formação de ciclones extratropicais ao longo de uma linha de descontinuidade formada por um frente polar que separava uma região de ar mais denso de origem polar e outra de ar menos denso de origem tropical. Ainda neste trabalho, estabeleceram que os ciclones tem um ciclo de vida bem marcado, iniciando-se como uma onda de pequena amplitude sobre uma frente polar semi estacionária. Esta perturbação atmosférica se intensifica até que a frente fria se sobrepõe a frente quente, quando atinge o estágio maduro. Durante o ciclo de vida de um ciclone várias forças atuam no sistema, merecendo destaque a força de Coriolis, responsável pelo sentido da circulação (horária no Hemisfério Sul), a força de gradiente de pressão, encarregada de promover o deslocamento do sistema e a força friccional, que age como um sumidouro de energia e diminui a intensidade dos ventos.

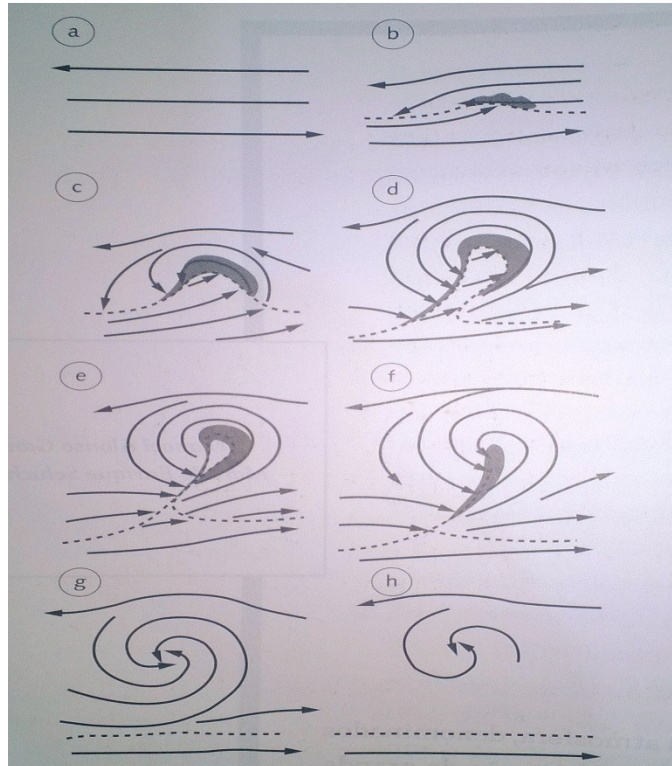


Figura 2.1.1 – Ciclo de vida dos ciclones extratropicais (BJERKNES, SOLBERG; 1922).

Apesar deste modelo conceitual ser aceito até hoje, outros trabalhos são desenvolvidos no sentido de aprimorar o conhecimento da formação, desenvolvimento e dissipação a respeito desses sistemas.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DE CICLONES

Petterssen e Smebye (1971), após estudarem vários casos de ciclones, mostraram que nem sempre as ciclogêneses estão associadas apenas à advecção de vorticidade ciclônica. Então, classificaram os ciclones em dois grupos distintos (A e B), de acordo com o tipo de desenvolvimento inicial do sistema.

a) Ciclones Tipo A

O desenvolvimento inicia-se sob uma corrente de ar superior não muito intensa, numa zona de máxima baroclinia, aonde, inicialmente, não é observada a presença de um cavado em altos níveis; porém, este desenvolve-se quando o ciclone em baixos níveis se intensifica. A advecção de vorticidade em altos níveis é pequena no início e durante o desenvolvimento do

sistema, dessa forma a contribuição principal para a intensificação do ciclone é a advecção térmica. A baroclinia na troposfera inferior é grande a princípio, decrescendo com a oclusão da onda. O resultado final é uma oclusão do tipo clássica (BJERKNES, SOLBERG; 1922).

b) Ciclones Tipo B

O desenvolvimento se inicia quando um cavado de ar superior preexistente, com forte advecção de vorticidade a jusante, penetra sobre uma área de advecção de ar quente nos baixos níveis, na qual a frente fria pode ou não estar presente. A distância de separação entre o cavado de ar superior e o sistema de baixos níveis decresce rapidamente enquanto o ciclone se intensifica. O eixo tende a se posicionar na vertical, assim que o ciclone atinge a intensidade máxima. A advecção de vorticidade nos altos níveis inicialmente é grande, diminuindo à medida que a intensidade máxima do ciclone é atingida. A advecção térmica no início é pequena, crescendo com a intensificação do ciclone em baixos níveis. A baroclinia na troposfera inferior é relativamente pequena na fase inicial, crescendo com a intensificação do sistema. O resultado final do desenvolvimento é a oclusão clássica (BJERKNES, SOLBERG; 1922).

2.3 CLIMATOLOGIA DE CICLOGÊNESE

Muitos estudos que tangem o maior conhecimento de área preferencial de formação de ciclones e deslocamento foram desenvolvidos para o Hemisfério Norte, dentre eles Peterssen (1956), Palmen e Newton (1969), Whittaker e Horn (1981). Porém, para o Hemisfério Sul e, particularmente, a América do Sul poucos estudos foram feitos. As primeiras climatologias de ciclones e ciclogêneses nas proximidades do continente Sul-Americano datam a década de 1960 (TALJAAR, 1967) e início dos anos 70 (RIVERO, BISCHOFF, 1971). Dentre os trabalhos feitos para essa região destacam-se: Taljaard (1972), Necco (1982), Satyamurty (1990), Gan e Rao (1991), Sinclair (1996b) e Palmeira (2003).

Taljaard (1972), usando os dados do Ano Geofísico Internacional, observou que um máximo de ciclogênese ocorre sobre o Paraguai.

Necco (1982) identificou através do Primeiro Experimento Global GARP cerca de 119 ciclones; dos quais 70% formaram-se sobre a região confinada entre 0°-090°W e 10°-55°S. Ainda concluiu que o verão é a estação de menor frequência de ocorrência de ciclogênese

sobre a América do Sul.

Satyamurty et al. (1990), usando principalmente imagens de satélite no período de 1980-1986, observam que o verão é a estação de maior ciclogênese sobre a América do Sul. Esse autor utiliza apenas 2 anos de dados de superfície e se baseia principalmente em imagens de satélite. Uma desvantagem do uso de imagens de satélite é a falta de definição do nível onde ocorre a ciclogênese.

Estudos mais recentes focam na determinação de regiões e épocas do ano de maior frequência da ocorrência de eventos de ciclogênese na região de estudo e, desta forma, tentam estabelecer distribuições espaciais e temporais da incidência de ciclones nesta área.

Gan e Rao (1991) utilizam 10 anos de cartas de superfície do período de janeiro de 1979 a dezembro de 1988 para examinar a variabilidade sazonal e interanual da ciclogênese na América do Sul. Os pesquisadores encontram dois núcleos de máxima ciclogênese (ver Figuras 2.2 e 2.3), um sobre o Uruguai e outro sobre o Golfo de San Mathias (Argentina). Na primavera e outono os dois núcleos têm aproximadamente a mesma intensidade, em torno de 15 sistemas a cada estação, ou seja, em torno de 5 sistemas por mês. O núcleo do Uruguai no inverno (verão) apresenta a maior (menor) frequência de ocorrência de ciclogênese, cerca de 25 (15) sistemas por estação. O contrário ocorre no Golfo de San Mathias, que apresenta no verão (inverno) a maior (menor) frequência de ocorrência de ciclogênese, 20 (15) sistemas por estação. Os dois núcleos deslocam-se para norte do verão para o inverno. Os autores atribuem distintos mecanismos físicos envolvidos nos dois núcleos encontrados, a instabilidade baroclínica local dos oestes no caso do máximo no Golfo de São Mathias e a ciclogênese orográfica devido à presença dos Andes no caso do máximo do Uruguai.

Com relação à variabilidade interanual, Gan e Rao (1991) mostram que em anos de El Niño (La Niña) ocorre a maior (menor) frequência de ocorrência de ciclogênese. Por exemplo, considerando o outono e inverno ocorreram no El Niño de 1983 ao todo 73 casos, enquanto no evento La Niña de 1981 nos mesmos meses ocorreram apenas 45 eventos.

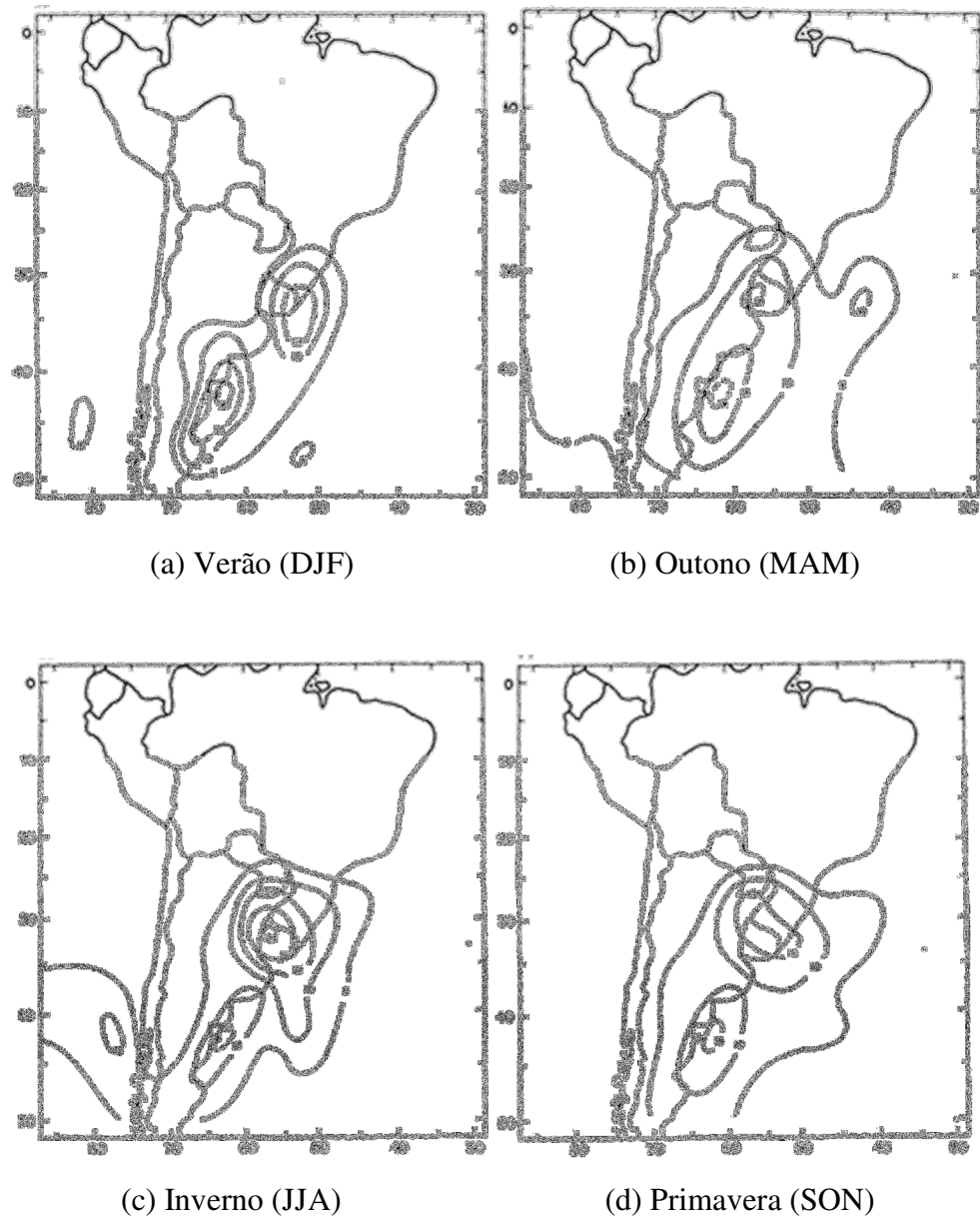


Figura 2.3.1 – Isolinhas de frequência de ciclogêneses: (a) verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA) e (d) primavera (SON) (GAN, RAO; 1991).

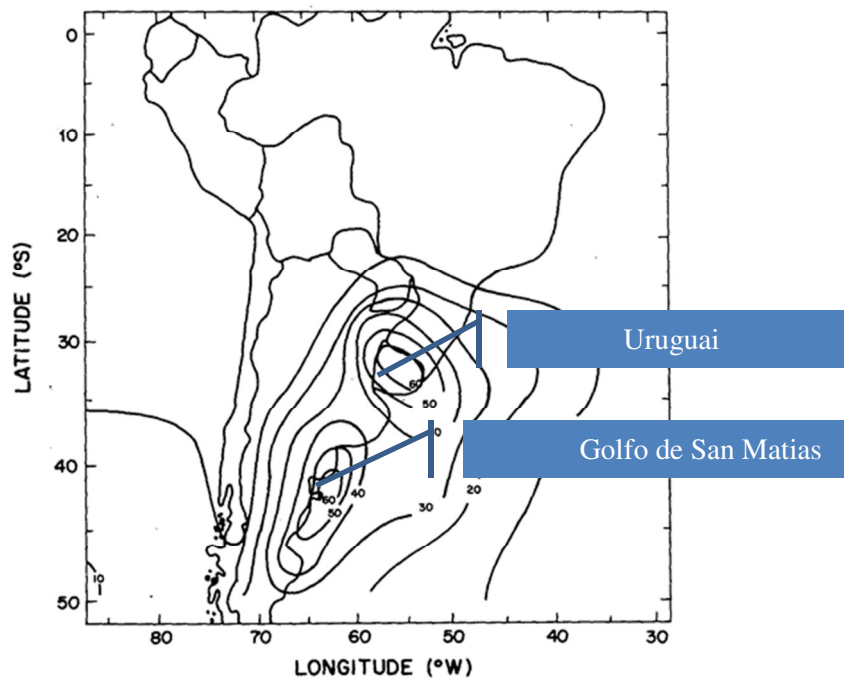


Figura 2.3.2 - Distribuição anual de isolinhas de frequência de cigogênese (Fonte: GAN E RAO; 1991).

Tabela 2.3.1 – Número de cigogêneses sobre a região 90° a 30°W e 15° e 50°S (Fonte:GAN E RAO; 1991).

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1979	4	9	7	4	18	3	9	11	4	9	9	6	93
1980	8	11	5	9	7	10	12	11	9	8	12	9	111
1981	7	7	8	13	4	5	8	6	6	6	9	7	86
1982	7	7	8	5	13	12	10	3	11	11	2	8	97
1983	8	4	12	9	14	14	14	13	12	15	11	9	135
1984	7	7	7	6	20	15	13	4	12	12	8	8	119
1985	11	10	7	11	15	11	10	6	10	15	4	4	114
1986	8	6	10	11	20	11	7	14	6	7	5	4	109
1987	3	6	7	9	7	11	17	19	13	12	6	7	117
1988	10	5	9	11	16	9	7	10	7	10	7	9	110
Total	73	77	80	88	134	101	107	97	90	105	73	71	1091

O trabalho de Sinclair (1996) ressalta que ocorre um máximo sobre o sul da Argentina durante os meses de verão, quando a baroclinia se desloca para o sul, e o máximo sobre o Uruguai ocorre no inverno, com um pico secundário na primavera, concordando com Gan e Rao (1991). O máximo secundário no litoral do Brasil possui um pico nos meses de verão.

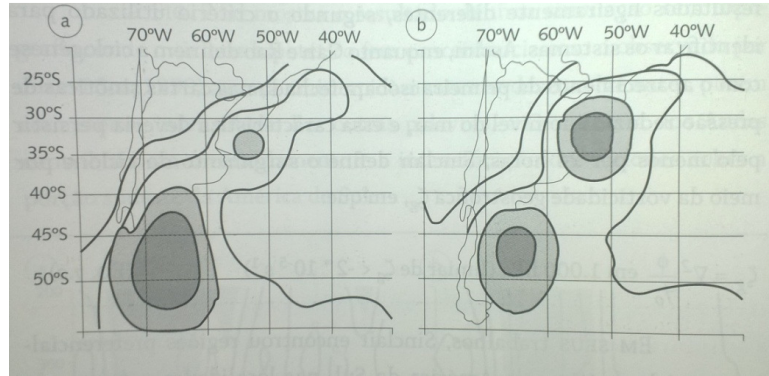


Figura 2.3.3 - Localização de ciclogêneses na América do Sul para o período de (a) novembro-abril e (b) maio-outubro, dos anos de 1980 a 1994 com isolinhas a cada 0,5 ciclones por uma área circular de 555 km (SINCLAIR, 1996).

3. DADOS E METODOLOGIA

Para a avaliação da performance do MIROC, são elaborados inicialmente campos de pressão ao nível médio do mar (PNMM), Vento a 10 metros e temperatura a 2 metros, os quais foram confrontados com a reanálise NCEP/NCAR para o clima presente. A seguir é feita uma comparação da climatologia de ciclogêneses do MIROC com a Reanálise CFSR, utilizando o esquema Cycloc (MURRAY, SIMMONDS; 1991).

3.1 O PROGRAMA CYCLOC

O esquema numérico a ser utilizado neste trabalho, denominado CYCLOC, foi desenvolvido por Murray e Simmonds (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, que são: o tempo (tempo inicial, final e intervalo de tempo entre os campos sucessivos), a área de interesse (limites em latitude e longitude), as informações relacionadas à grade (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 3.1, 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.

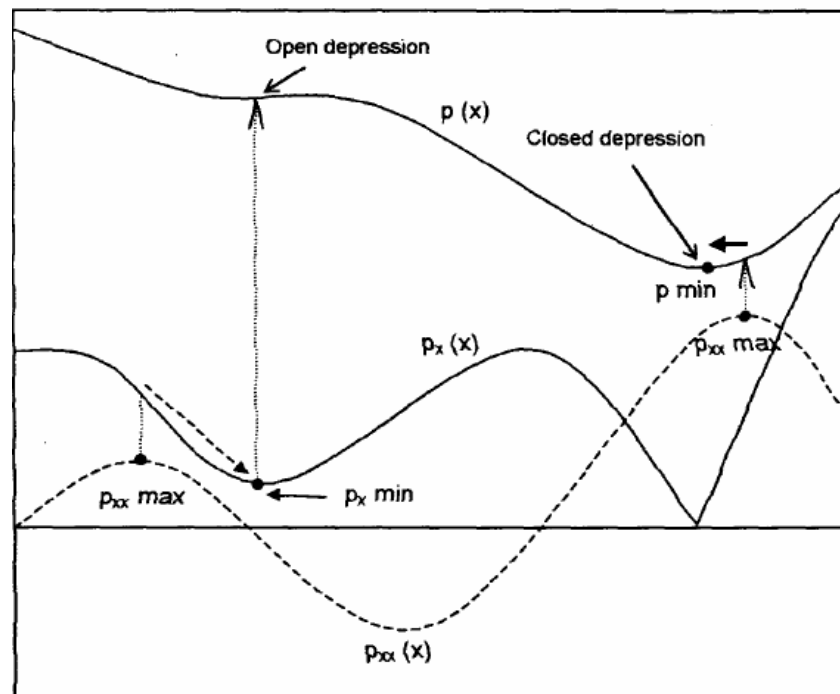


Figura 3.1.1 – Seção transversal da pressão e suas derivadas mostrando como o máximo de p_{xx} (ou o Laplaciano de p em duas dimensões) pode ser usado como pontos iniciais na pesquisa por ambas depressões abertas e fechadas. Um centro de baixa ficará normalmente próximo a seu associado máximo do Laplaciano, mas não será necessariamente coincidente com ele, salvo o caso de um sistema exatamente simétrico. Para 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, δt é o intervalo de tempo, v_{av} é a velocidade média climatológica do sistema, Φ 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.

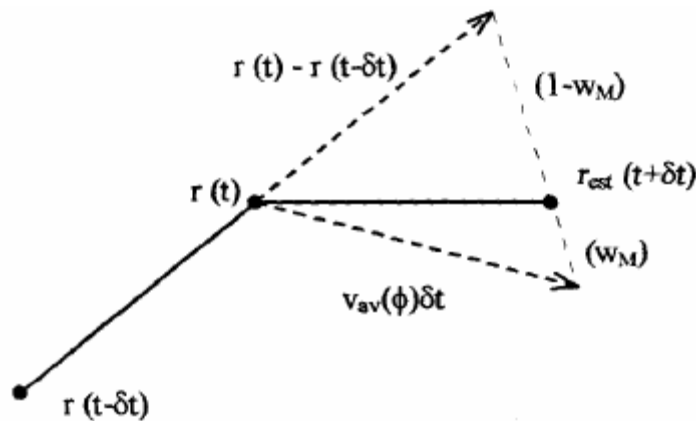


Figura 3.1.2 - Estimativa de uma nova posição ($r_{est}(t+\delta t)$) baseada nos pesos w_m do deslocamento prévio, $r(t)-r(t-\delta t)$, e $(1-w_m)$ do deslocamento baseado nas velocidades médias dos ciclones $v_{av}(\Phi)\delta t$ (Fonte: MS).

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°). 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_{máx}** assume um valor unitário para a associação envolvendo um sistema fechado, forte e não novo, mas emprega-se um valor menor de **P_{máx}** para associações que incluem sistemas novos (**P_{new}**), abertos (**P_{open}**), ou ambos (**P_{new} x P_{open}**) 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 ΣP_{mn} , é selecionada. No Grupo 1 existem apenas dois ajustes possíveis, $A_c + E_e$ ($\Sigma P_{mn} = 0,6 + 0,5 = 1,1$) e E_c ($\Sigma P_{mn} = 0,8$). A combinação que tiver a mais alta probabilidade é então selecionada (no caso $A_c + E_e$). A combinação resultante para o Grupo 2 é $B_a + C_b + F_d$ ($\Sigma P_{mn} = 1,9$). Depois de

selecionar esses ajustes, conclui-se que os ciclones D e G são extintos e f constitui um novo elemento.

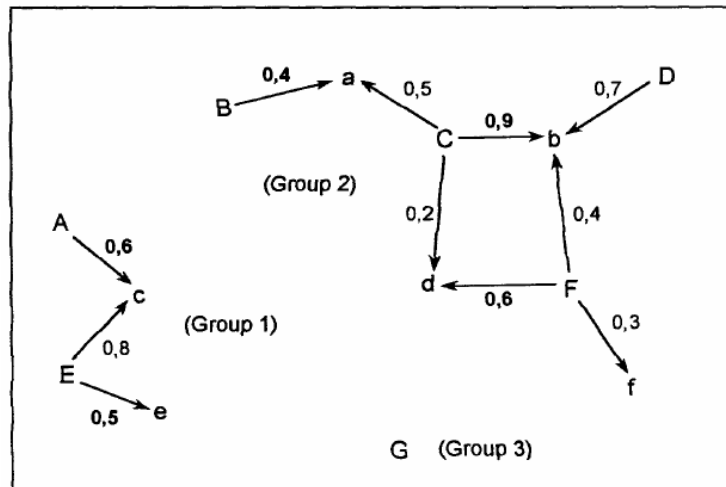


Figura 3.1.3 – Grupo de posições previstas (maiúsculas) e novas (minúsculas) de ciclones. Os valores entre os pares indicam a probabilidade de associação (Fonte:MSa).

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°.

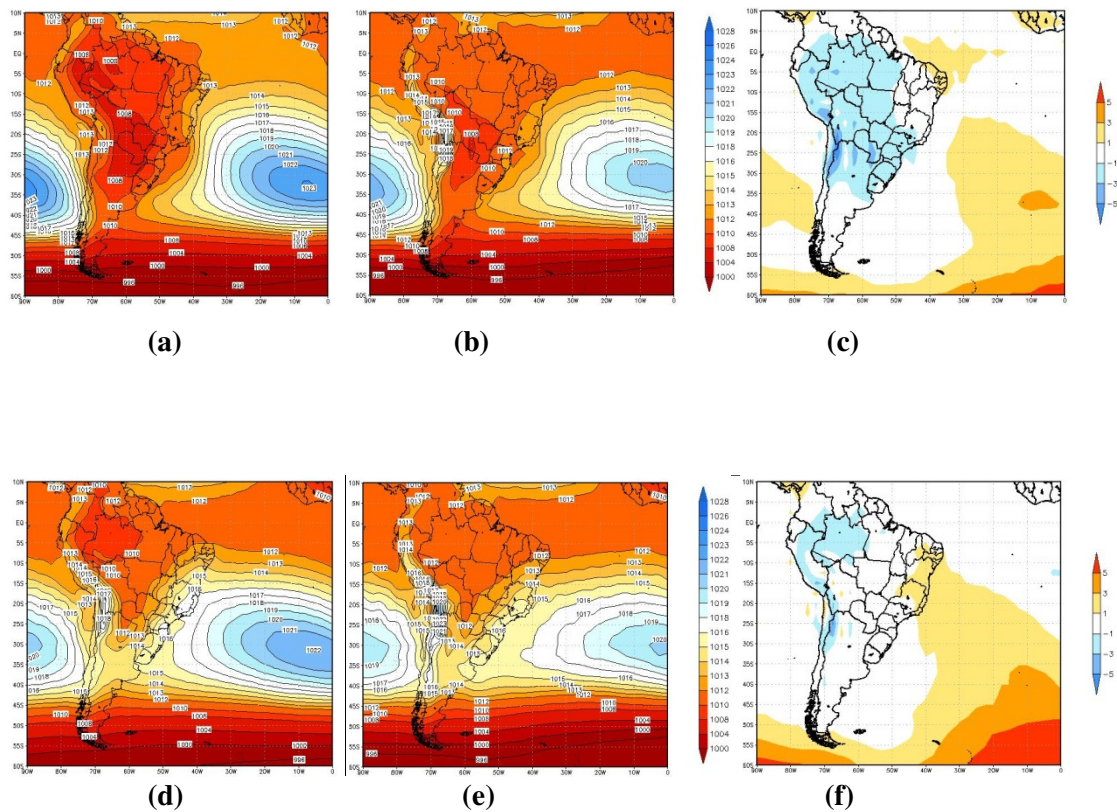
4. RESULTADOS

Neste tópico são apresentados os campos médios sazonais elaborados a partir de dados de PNMM, temperatura a 2 metros e vento da Reanálise NCEP/NCAR e do modelo MIROC, bem como os resultados das saídas do programa CYCLOC, utilizando-se como dados de entrada os campos de PNMM da Reanálise do CFSR e do MIROC no período de 1986-2005.

4.1 AVALIAÇÃO DO MODELO MIROC EM COMPARAÇÃO COM A REANÁLISE NCEP/NCAR

A seguir são apresentadas as climatologias sazonais de PNMM, temperatura a 2 metros e ventos para o período de 1986-2005 do MIROC, NCEP/NCAR e da diferença (MIROC-NCEP/NCAR).

4.1.1 Pressão ao Nível Médio do Mar



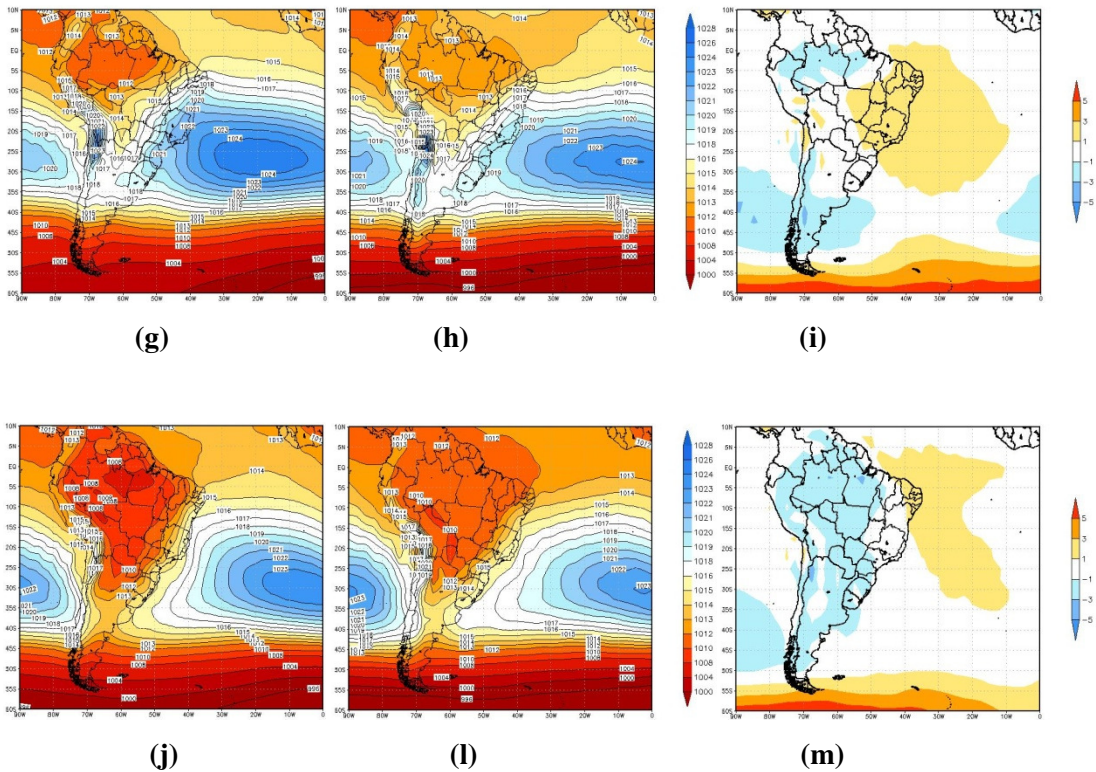
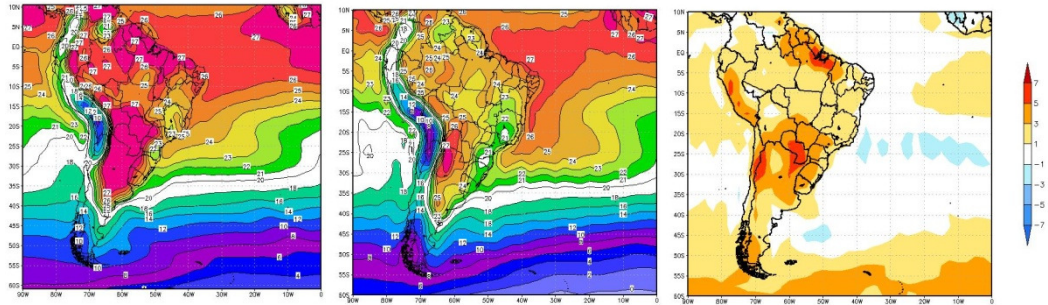


Figura 4.1.1 – Climatologia sazonal de PNMM (1986-2005) para: (a) Verão MIROC, (b) Verão NCEP, (d) Outono MIROC, (e) Outono NCEP, (g) Inverno MIROC, (h) Inverno NCEP, (j) Primavera MIROC, (l) Primavera NCEP. Diferença MIROC-NCEP (1986-2005) para: (c) Verão, (f) Outono, (i) Inverno e (m) Primavera.

Na representação da PNMM o Modelo mostrou um bom desempenho com relação ao posicionamento climatológico sazonal dos Anticiclones Subtropicais do Pacífico (ASPS) e do Atlântico (ASAS), contudo em todas as estações subestimou ao valor da PNMM no interior do continente de 1 a 5 hPa, principalmente na região dos Andes, e superestimou em 1 a 3 hPa na região do ASPS, ASAS e na região da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

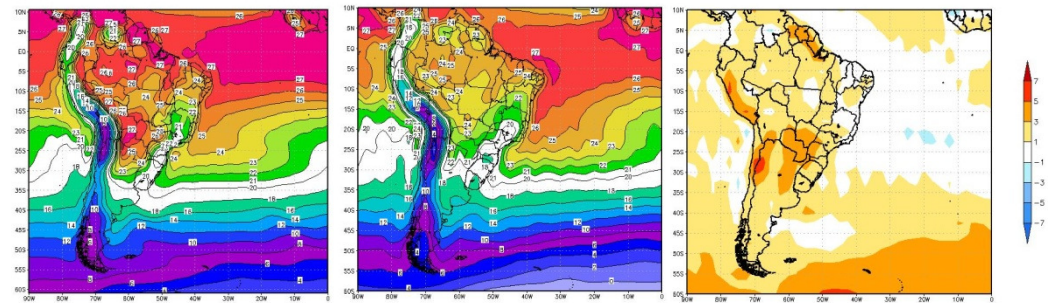
4.1.2 TEMPERATURA DO AR A 2 METROS



(a)

(b)

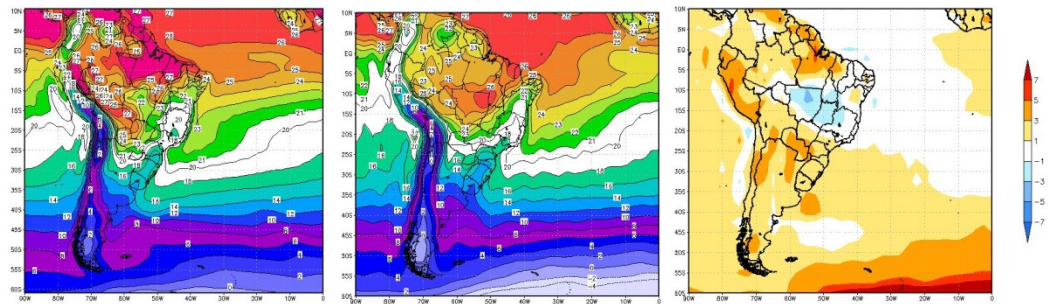
(c)



(d)

(e)

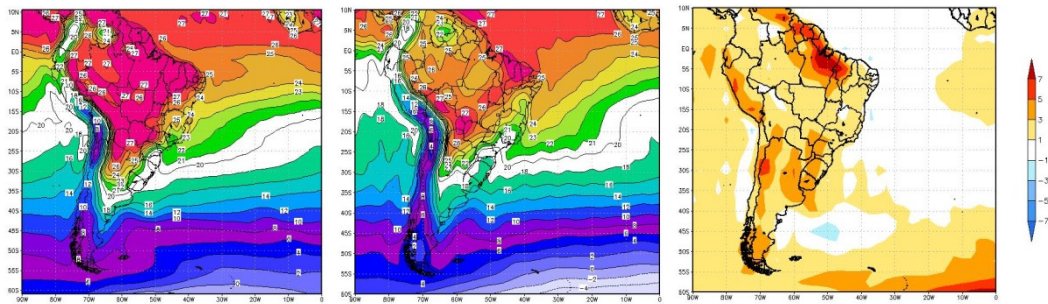
(f)



(g)

(h)

(i)



(j)

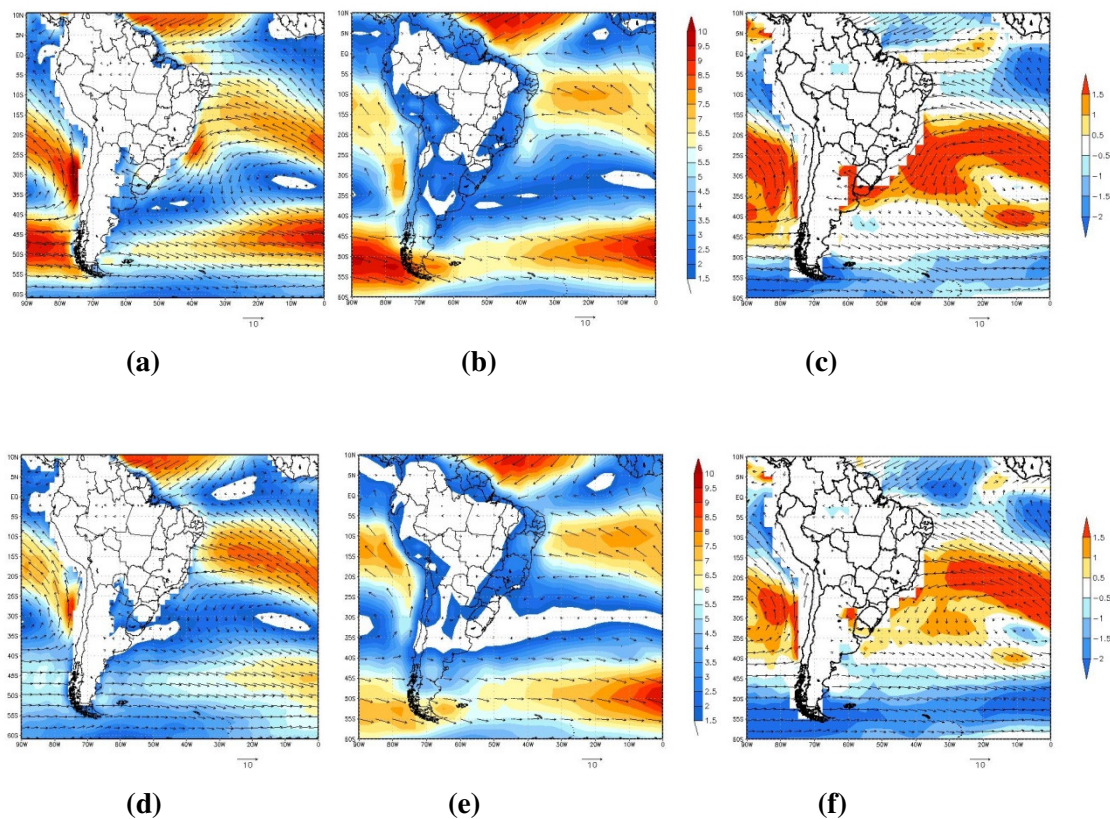
(l)

(m)

Figura 4.1.2 – Climatologia sazonal de Temperatura do ar a 2 metros (1986-2005) para: (a) Verão MIROC, (b) Verão NCEP, (d) Outono MIROC, (e) Outono NCEP, (g) Inverno MIROC, (h) Inverno NCEP, (j) Primavera MIROC, (l) Primavera NCEP. Diferença MIROC-NCEP (1986-2005) para: (c) Verão, (f) Outono, (i) Inverno e (m) Primavera.

De um modo geral, para a temperatura do ar a 2 metros, o MIROC mostrou uma melhor representatividade sobre a região oceânica com superestimativa de 1 a 3°C, quando comparado ao interior do platô continental onde a superestimativa chega a 7°C em certas regiões. No verão, o MIROC subestima o valor da temperatura de 1 a 3°C sobre a região do ASAS, entre 20 e 25°S. No interior do continente, ele tende a superestimar o valor da temperatura de 1 a 5°C em todas as estações do ano, com destaque para as regiões do Peru, centro-sul do Paraguai, sudeste do Chile e nordeste do Pará que tendem a ser superestimadas de 3 a 7°C.

4.1.3 VENTO



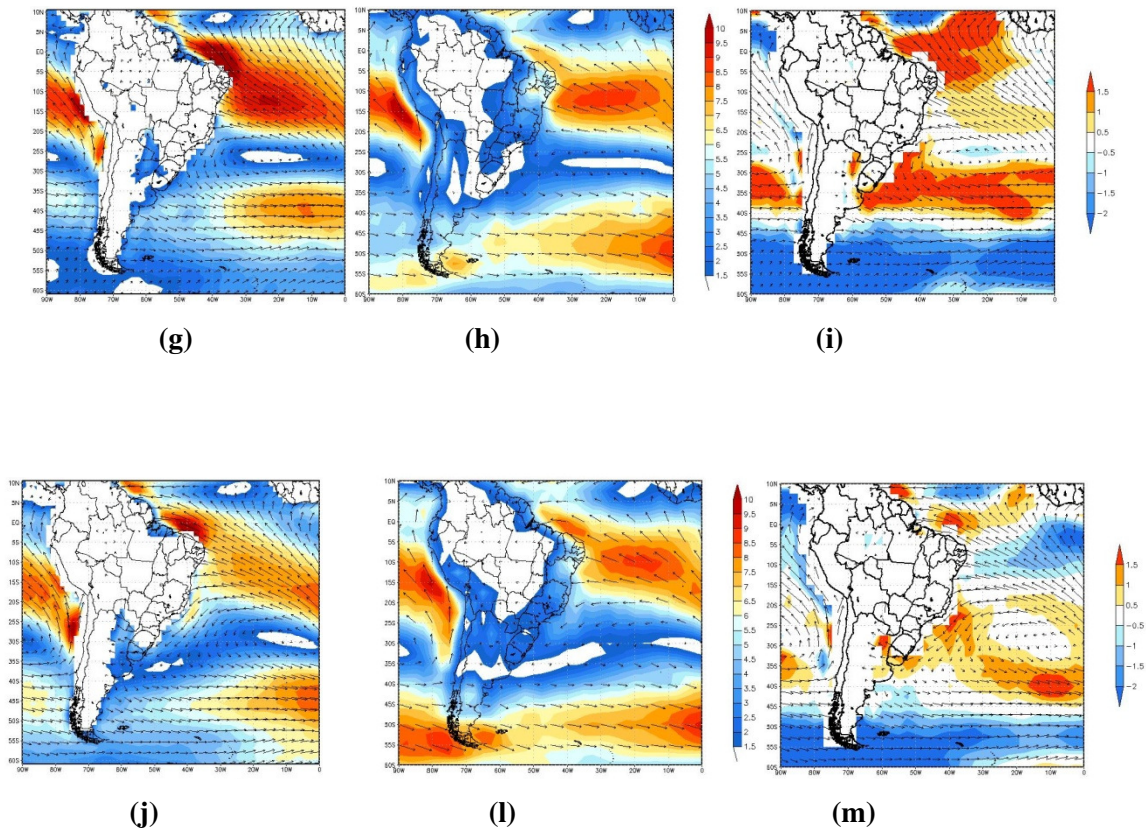
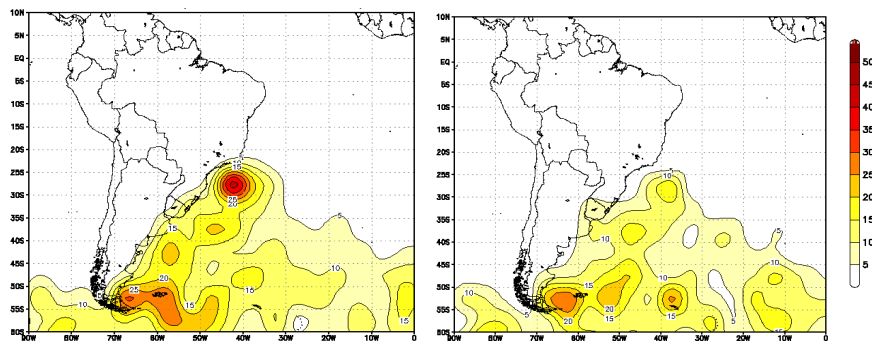


Figura 4.1.3 – Climatologia sazonal de vento a 10 metros (1986-2005) para: (a) Verão MIROC, (b) Verão NCEP, (d) Outono MIROC, (e) Outono NCEP, (g) Inverno MIROC, (h) Inverno NCEP, (j) Primavera MIROC, (l) Primavera NCEP. Diferença MIROC-NCEP (1986-2005) para: (c) Verão, (f) Outono, (i) Inverno e (m) Primavera.

O MIROC representa bem a circulação da atmosfera para a região analisada, identificando a ASAS, ASPS e a ZCIT, por exemplo. Vale ressaltar que, nas figuras de diferença MIROC-NCEP, o vetor vento plotado nas mesmas é proveniente do modelo MIROC e somente a magnitude é obtida a partir da diferença. Em todas as estações, o MIROC tende a superestimar a magnitude do vento nas bordas das altas semi estacionárias e no leste do Chile e sudeste do Brasil. No verão e no outono, o modelo superestima em mais de 1,5 m/s, o vento na borda norte do ASAS e borda leste do ASPS. No inverno, na faixa de 30°S a 35°S a intensidade do vento tende a ser superestimada de um modo geral, bem como na região da ZCIT. A primavera é a estação onde ocorre menos superestimativas, sendo observada de modo mais marcante a superestimativa da velocidade do vento na borda sul da ASAS.

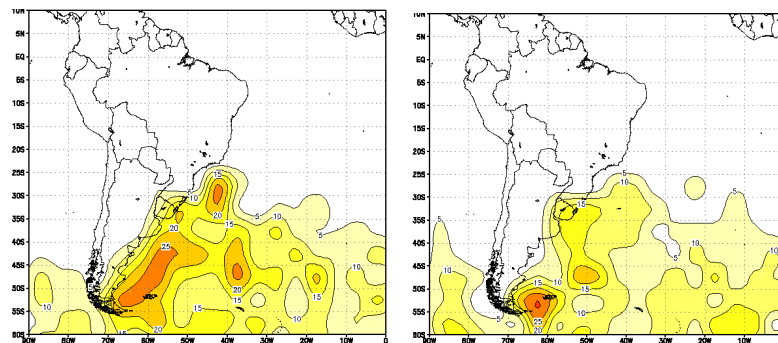
4.2 CLIMATOLOGIA DE CICLOGÊNESES UTILIZANDO O ESQUEMA CYCLOC – COMPARAÇÃO MIROC E CFSR

Nas figuras abaixo são apresentadas as climatologias de ciclogêneses do MIROC em comparação com a Reanálise do CFSR para o clima presente (1986-2005), utilizando-se o esquema CYCLOC.



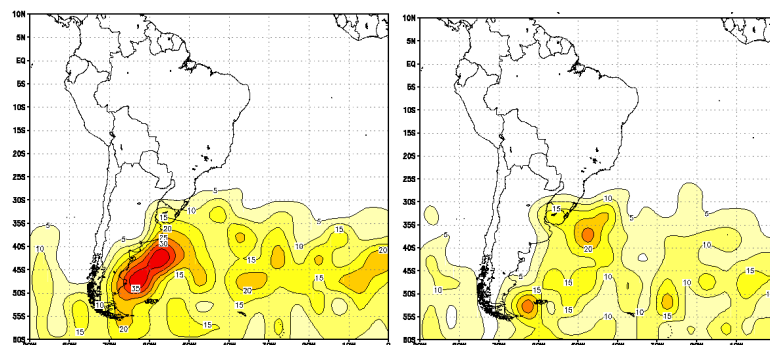
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)

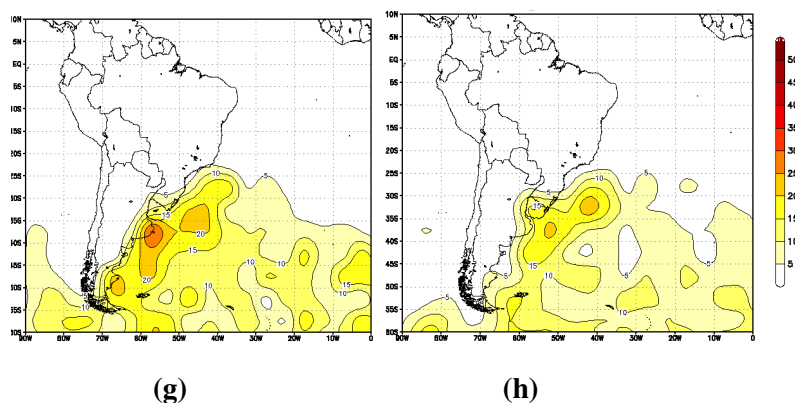


Figura 4.2.1 – Climatologia de ciclogêneses (1986-2005) para: (a) Verão MIROC, (b) Verão CFSR, (c) Outono MIROC, (d) Outono CFSR, (e) Inverno MIROC, (f) Inverno CFSR, (g) Primavera MIROC e (h) Primavera CFSR.

No verão do MIROC, aparece um máximo de ciclogêneses (40 a 45) próximo ao sudeste do Brasil. Esse mesmo máximo é observado na climatologia do CFSR com um valor bem inferior, em torno de 15 a 20, o que indica uma superestimativa do MIROC com relação a formação de ciclones para esta região. Ainda no verão, no sul da Argentina é observado outro máximo tanto no MIROC, quanto na reanálise CFSR, ambos indicando de 20 a 25 ciclogêneses para o período analisado. No outono, o MIROC continua superestimando o valor de ciclogêneses no sudeste do Brasil, porém em menor número, o máximo no sul da Argentina continua sendo observado. No inverno o CFSR exibe dois máximos, um próximo ao Uruguai e outro próximo ao sul da Argentina e, aparentemente, o MIROC une esses dois máximos em um único que se estende a leste da Argentina. Na primavera o modelo observa um máximo próximo ao sul do Uruguai, também superestimado (em torno de 5 a 10 ciclogêneses) quando comparado com a reanálise.

De um modo geral, apesar de superestimar em todas as estações o número de ciclogêneses, o MIROC consegue observar as regiões de máximos, quando comparado ao CFSR, assim como comparado com a climatologia obtida em outros trabalhos citados no capítulo 2.

A seguir são apresentadas as tabelas 4.1 e 4.2, que apresentam a distribuição mensal de ciclogêneses por faixa de latitude no período de 1986-2005 para o MIROC e CFSR, respectivamente. A análise da tabela 4.1, mostra uma clara tendência de aumento das ciclogêneses com o aumento da latitude nos meses de inverno, com destaque para a faixa entre 45°S e 50°S, que nos meses de maio, junho e julho chegam a valores entre 130 e 140 gêneses. Nestes mesmos meses, os totais para o período de estudo englobam

aproximadamente 760 ciclogêneses. Pode-se também observar que, há uma tendência de diminuição do número de ciclogêneses nos meses de verão e acima da faixa de 70°S e 75°S, esse número decresce drasticamente.

Tabela 4.2.1 – Total mensal de ciclogêneses por faixa de latitude para o período de 1986 – 2005 do MIROC.

LATITUDE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
0 - 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - 10	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
10 - 15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15 - 20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20 - 25	4	8	4	0	1	0	0	0	0	6	4	6	33
25 - 30	32	24	20	14	12	3	5	10	16	24	32	34	226
30 - 35	29	25	42	34	40	33	35	44	42	44	39	33	440
35 - 40	43	39	42	62	88	89	100	77	78	60	70	51	799
40 - 45	54	66	68	91	117	153	130	126	104	76	54	56	1095
45 - 50	92	76	69	97	135	130	140	127	112	100	81	70	1229
50 - 55	123	88	89	93	105	100	119	106	97	94	75	120	1209
55 - 60	104	101	97	92	100	92	100	118	83	83	11	101	1082
60 - 65	73	80	99	71	82	81	72	73	78	98	93	81	981
65 - 70	27	32	54	75	71	63	48	50	56	57	36	34	603
70 - 75	5	8	16	29	15	22	13	20	13	16	13	1	171
75 - 80	0	0	2	0	0	1	0	1	2	0	0	0	6
80 - 85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85 - 90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totais	587	547	603	660	766	767	762	752	681	658	608	587	7978

Tabela 4.2.2 – Total mensal de ciclogêneses por faixa de latitude para o período de 1986 – 2005 do MIROC.

LATITUDE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
0 - 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 - 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 - 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 - 25	1	1	0	1	2	0	1	1	1	1	1	2	12
25 - 30	14	5	14	14	21	11	12	13	18	28	20	18	188
30 - 35	21	25	33	41	43	45	38	51	40	46	48	22	453
35 - 40	36	37	38	53	61	61	67	56	51	56	43	35	594
40 - 45	40	32	48	54	72	81	70	59	68	41	39	58	662
45 - 50	81	60	78	77	86	93	101	97	59	65	56	72	925
50 - 55	106	91	80	80	109	95	83	78	64	68	69	114	1037
55 - 60	102	88	95	101	95	101	85	69	80	72	78	95	1061
60 - 65	84	96	85	110	104	93	108	110	110	96	111	92	1199
65 - 70	47	66	67	69	63	71	73	74	56	77	86	52	801
70 - 75	8	14	20	9	20	19	20	24	26	25	15	11	211
75 - 80	0	0	1	2	2	1	7	4	2	3	1	0	23
80 - 85	0	0	2	1	2	0	3	3	0	0	0	0	11
85 - 90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	540	515	561	612	680	671	668	639	575	578	567	571	7177

A análise da tabela 4.2 aponta as mesmas características da primeira descrita, contudo os valores de ciclogêneses são inferiores, onde nos meses de máxima ocorrência do fenômeno, os valores ficam próximos de 670 ciclogêneses.

A comparação das duas tabelas mostra que o MIROC apesar de apresentar o mesmo comportamento mensal e latitudinal de ocorrência de ciclogêneses, superestima o valor das mesmas, principalmente nos meses de inverno em um valor de, aproximadamente 80 a 90 ciclogêneses.

5. CONCLUSÕES E ETAPAS FUTURAS

Nessa primeira etapa foi apresentada uma análise do desempenho do Modelo Global MIROC, utilizando como parâmetro de comparação as reanálises NCEP/NCAR para os campos de PNMM, temperatura a 2 metros e vento a 10 metros e o CFSR para a análise da climatologia de ciclogêneses utilizando o esquema CYCLOC.

Foi observado um bom desempenho do Modelo MIROC na representação da circulação geral da atmosfera, quando analisados os campos de vento e a posição climatológica do ASPS e do ASAS. Contudo, o MIROC tende a superestimar o valor da PNMM sobre a ASPS e ASAS e a subestimar no interior do continente. Com relação a temperatura, o modelo tende a superestimar esta variável no interior do continente e um pouco menos na região oceânica.

A climatologia de ciclogêneses elaborada pelo MIROC localiza máximos de atividade em regiões que já foram observadas por outros autores, como por exemplo, próximo ao Uruguai. Porém, do mesmo modo o MIROC superestima o valor de ciclogêneses quando comparado com o CFSR. Essa tendência de superestimativa é confirmada através da comparação das tabelas elaboradas para o Modelo e para a Reanálise. Apesar da superestimativa, nota-se um claro aumento de ciclogêneses com o aumento da latitude, principalmente na faixa de 45°S e 50° para os meses de inverno.

Como etapas futuras será iniciada a construção da climatologia de ciclogêneses do modelo Eta-MIROC, com os ajustes do esquema CYCLOC aos dados do mesmo, para a grade de 1,5° de latitude x 1,5° de longitude a fim de comparar com as saídas do CFSR. A seguir será elaborada a avaliação da climatologia de ciclogêneses do modelo Eta-MIROC para América do Sul em comparação com Reanálise CFSR para o clima presente. Finalmente será elaborada a climatologia de ciclogêneses no clima futuro (2011-2099) com modelo Eta-MIROC.

BIBLIOGRAFIA

ARAKAWA, A. LAMB, V. R., 1977: Computational design of the basic dynamical process of the UCLA general circulation model. *Methods in Computational Physics*, v. 17, p. 173-265.

BJERKNES, J. On the of moving cyclones. *Geofysiske Publikasjoner*, v. 1, n. 2, p. 1-8, 1919.

BJERKNES, J.; SOLBERG, H. Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation. *Geofysiske Publikasjoner*, v. 3, n. 1, p. 3-18, 1922.

CHARNEY, J. G. The dynamics of long waves in a baroclinic westerly current. *Journal of Meteorology*, v. 4, n. 5, p. 135-162, 1947.

CHOU, S. C., 1986: Modelo regional Eta. Climanálise Especial Edição Comemorativa de 10 anos. São José dos Campos.

EADY, E. T. Long waves and cyclonic waves. *Tellus*, v. 1, n. 3, p. 33-52, 1949.

GAN, M. A.; RAO, V. B Surface cyclogenesis over South America. *Monthly Weather Review*, v. 119, p. 1293-1303, 1991.

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.

NECCO, G, V. Comportamiento de vórtices ciclónicos em el área sudamericana durante el FGE: Ciclogénesis. *Meteorológica*, v. 1, p. 7-21, 1982.

PALMEIRA, R. M. J., 2003: Climatologia de Ciclones Extratropicais na Região da América do Sul. Monografia de Graduação. Departamento de Meteorologia, UFRJ.

PESQUERO, F. J.; CHOU, S. C.; NOBRE, C. A. N.; MARENGO, J.A., 2009. Climate downscaling over South America for 1961-1970 using the Eta Model. *Theor. Appl. Climatol.*, published on line 11 March 2009. Doi: 10.1007/s00704-009-0123-z.

SUTCLIFFE, R. C. On the development of cyclones and anticyclones. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, v. 43, 1947.

TALJAARD, J. J. Topics: synoptic meteorology of the Southern Hemisphere. *Meteor. Monographs*, v. 13, n. 35, p. 129-213, 1972.