

COMPARAÇÃO ENTRE “STORM-TRACKS” NO ATLÂNTICO NORTE ENCONTRADOS NAS REANÁLISES DO ECMWF E NCEP/NCAR

David Mendes, Isabel F. Trigo, Pedro. M. A. Miranda
Faculdade de Ciências, Departamento de Física, Campo Grande, edifício C8
Piso 3, Lisboa, Portugal, 1749-016
dmendes@fc.ul.pt

RESUMO

As trajectórias das depressões (storm-tracks) na região do Atlântico Norte são obtidas, aplicando um método de detecção automático ao campo do geopotencial aos 1000hPa (Z1000) das reanálises do ECMWF (ERA40) e do NCEP/NCAR, respectivamente. O método consiste na identificação de isolinhas fechadas aos 1000hPa, e no seguimento desses mínimos de geopotencial procurando os centros mais próximos em cartas consecutivas. O estudo é realizado para o período compreendido entre Dezembro de 1958 e Março de 2000, utilizando campos de Z1000 de 6 em 6 horas, sobre grelhas de 1.125°x1.125° (ECMWF) e 2.5°x2.5° (NCEP/NCAR), respectivamente. A análise dos sistemas depressionários obtidos com as duas bases de dados mostra diferenças no padrão e frequência de ciclogéneses, sobretudo em áreas de grande actividade, e.g., junto à costa leste Americana, Gronelândia e no Mediterrâneo. As discrepâncias mais pronunciadas são observadas na variabilidade interanual do número de trajectórias em áreas pré-definidas; de um modo geral, observam-se tendências mais pronunciadas (negativa no Mediterrâneo e positiva no Atlântico Nordeste) nos dados obtidos com as reanálises NCEP/NCAR.

ABSTRACT

North Atlantic storm-tracks are obtained through an automatic storm detecting and tracking scheme applied to sea level pressure (SLP) fields from ECMWF (ERA40) and NCEP/NCAR reanalyses, respectively. The detecting and tracking scheme looks for closed isobars in SLP charts, and follows the detected centres by identifying the nearest neighbours in the next chart. This study is focused on the period between December 1958 and March 2000, using 6-hourly SLP fields, with 1.125°x1.125° (ECMWF) and 2.5°x2.5° (NCEP/NCAR) horizontal resolutions. The cyclone tracks obtained with the two datasets show differences in cyclogenesis patterns and frequencies, particularly within areas of high cyclogenetic activity (e.g., America's eastern coast, Greenland, Mediterranean). The most marked discrepancies are obtained for the interannual variability of the number of storm-tracks in pre-defined areas; generally the number of cyclones exhibits more pronounced trends (positive over the Northeastern Atlantic, and negative in the Mediterranean) for the data obtained from the NCEP/NCAR reanalysis, than from ERA40.

Palavras chave: Storm tracks, Atlântico e reanálises

Keys word: storm tracks, Atlantic and reanalysis

1. INTRODUÇÃO

Os dados de reanálises têm demonstrado grande utilidade no estudo da variabilidade atmosférica, tanto para curto prazo como para longo prazo. As reanálises são uma combinação entre observações (convencionais e outras) e um modelo numérico da atmosfera. O modelo e respectivo esquema de assimilação de dados mantêm-se fixo durante todo o período da reanálise, produzindo um conjunto de campos consistentes entre si, representativos do estado da atmosfera para o período em causa.

Deve esperar-se que as técnicas e as metodologias individuais usadas nas assimilações e nos modelos produzam campos reanalisados distintos, justificando a necessidade de comparar a variabilidade climática observada em ambos os conjuntos de dados. Higgins et al. (1996) e Trenberth et al. (2001) compararam climatologias obtidas a partir das reanálises do National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) e as do European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF), respectivamente, focando essencialmente fenómenos de baixa frequência. Entretanto, é também importante examinar todas as discrepâncias nas escalas espaciais e temporais representativas dos sistemas de escala sinóptica, para fornecer alguma quantificação da incerteza da sua representação. Isto é particularmente importante se nós desejarmos estudar mudanças nos “storm-tracks” ou em eventos extremos. Hodges et al. (2003) realizaram um estudo comparativo entre diversas reanálises, com intuito de analisar a representação de sistemas sinóticos das latitudes médias, tanto para o Hemisfério Norte, como para o Hemisfério Sul; encontraram diferenças no posicionamento das ciclogêneses, o que pode ser explicado em função das diferentes resoluções espaciais, principalmente entre as reanálises do NCEP/NCAR e ECMWF. Existem vários métodos para a identificação de “storm-tracks”, entre os quais podemos citar Murray e Simmonds (1991a), Blender et al. (1997), Trigo et al. (1999). Neste estudo usaremos o método descrito por Trigo et al. (1999) para uma área que abrange o Atlântico Norte e parte da Europa, com o objectivo de verificar as diferenças entre o posicionamento dos “storm-tracks” e suas intensidades através nas reanálises do NCEP/NCAR e do ECMWF, respectivamente.

2. DADOS E MÉTODOS

Foram usados do geopotencial aos 1000hPa (Z1000) para das reanálises do NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996) e das reanálises do ECMWF, respectivamente. Procedeu-se a uma mudança do campo Z1000 para unidades de pressão (hPa), utilizando a expressão descrita por Peixoto e Oort (1992):

$$P_{Central} (hPa) = 0.121Z_{1000}(GMP)+1000 \quad (1)$$

A resolução espacial do NCEP/NCAR é de 2.5°x2.5°, sendo a do ECMWF de 1.125°x1.125°, portanto uma malha mais final. Ambos os campos têm a mesma resolução temporal de 6 horas, abrangendo o período de 1959 a 2000, para os meses de Dezembro,

Janeiro, Fevereiro e Março (Inverno). O critério usado para diagnosticar um ciclone foi mantido para ambos os dados e é descrito da seguinte maneira:

A ocorrência de um sistema de baixa pressão à superfície é identificado se houver pelo menos uma isolinha fechada numa área de 3x3 de pontos de grade.

Para ser considerado um ciclone, este mínimo tem de cumprir dois requisitos:

- 1) Um valor máximo de 1020 hPa para a pressão central (estimada de acordo com (1));
- 2) O gradiente médio da pressão, estimado para uma área de $9^\circ\text{lat} \times 11^\circ\text{lon}$ deve ser pelo menos 0.55 hPa/100 km.

Para distinguir os sistemas, cada um recebe um nome, que o classifica em cada instante de análise. São pares de números, $s(t,m)$, $t=1,2,3\dots,T$ e $m=1,2,3\dots,M$, onde t representa o instante e m a posição do sistema no tempo t . Por exemplo, o sistema $s(3,7)$ é o sétimo sistema do terceiro intervalo de tempo.

A partir do segundo intervalo de tempo, são calculadas as distâncias de cada sistema no instante de tempo $t-1$ com todos os sistemas do instante t . Um sistema em t será um “candidato” a ser a evolução de um sistema em $t-1$ se a velocidade de deslocamento foi de no máximo 33 km/h no sentido oeste e de 90 km/h em qualquer outra direcção.

Neste estudo são considerados apenas centros cujo tempo de vida é pelo menos 24 horas, de modo a eliminar mínimos de pouca duração e com pouco impacto no tempo local.

A área de estudo abrange o Atlântico Norte e a Europa, sendo que para este trabalho foram feitas análises estatísticas para áreas específicas no Mediterrâneo e no Atlântico Norte.

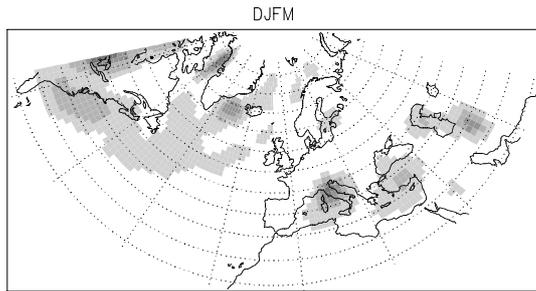
3. RESULTADOS

3.1 Distribuição Espacial

No Atlântico Norte existem várias áreas de formação de depressões, sendo as regiões localizadas no litoral leste da América do Norte, Sul da Groenlândia e Mediterrâneo as que apresentam maiores quantidades de ciclogéneses (Petterssen, 1956; Blender et al., 1997 e Trigo et al., 1999).

Na figura 1, podemos observar o número de ciclogéneses por mês formadas para o período de DJFM, obtidas com as reanálises do NCEP/NCAR e do ECMWF, respectivamente. As principais áreas de formação são muito semelhantes, com máximos na costa leste dos Estados Unidos, junto à Gronelândia, dois máximos diferenciados no Mediterrâneo sobre o Golfo de Génova e na Turquia, e ainda dois máximos na vizinhança do Mar Cáspio. A região alongada no bordo oeste do domínio está essencialmente associada à entrada de depressões na área em estudo. As diferenças mais significativas entre os dois campos referem-se à quantidade de ciclogéneses, principalmente nas regiões de maior actividade. É possível que a maior resolução do ECMWF permita a detecção de mais eventos, particularmente aqueles cuja escala espacial não é bem representada pelo campo do geopotencial aos 1000 hPa do NCEP/NCAR.

Cyclogenesis NCEP/NCAR



Cyclogenesis ECMWF

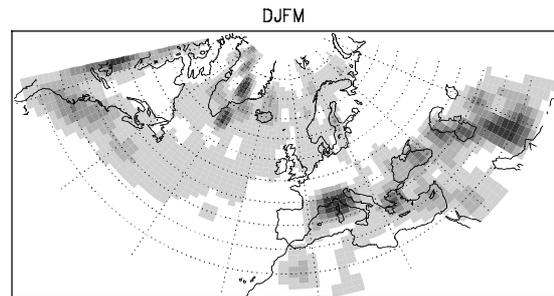
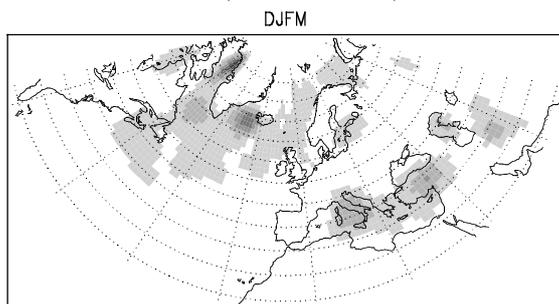


Figura 1 – Distribuição das primeiras posições (ciclogênese) dos centros depressionários; os valores representam número de centros por mês, por caixas de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ ($4.25^{\circ} \times 4.25^{\circ}$) obtidos através das reanálises do NCEP/NCAR (ECMWF) para DJFM.

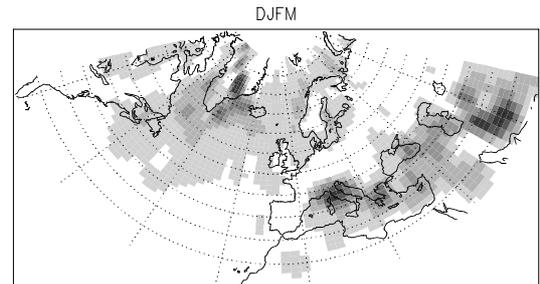
A Fig. 3 mostra as posições dos centros na fase de máxima actividade, quando estes atingem a pressão mínima. Tal como no caso anterior (ciclogênese), a distribuição espacial dos ciclones é muito semelhante, embora o campo do ECMWF revele um maior número de centros encontrados.

Max Deep NCEP/NCAR



(a)

Max Deep ECMWF



(b)

Figura 2 – Como na Fig. 1, mas para as posições em que os centros depressionários atingem a pressão mínima.

A última posição de cada sistema (Fig. 3) é indicativa das regiões de ciclólise, ou seja da fase final de um ciclone. Tal como no caso da Fig. 1, a faixa alongada no bordo leste representa essencialmente centros que se deslocam para fora do domínio em estudo.

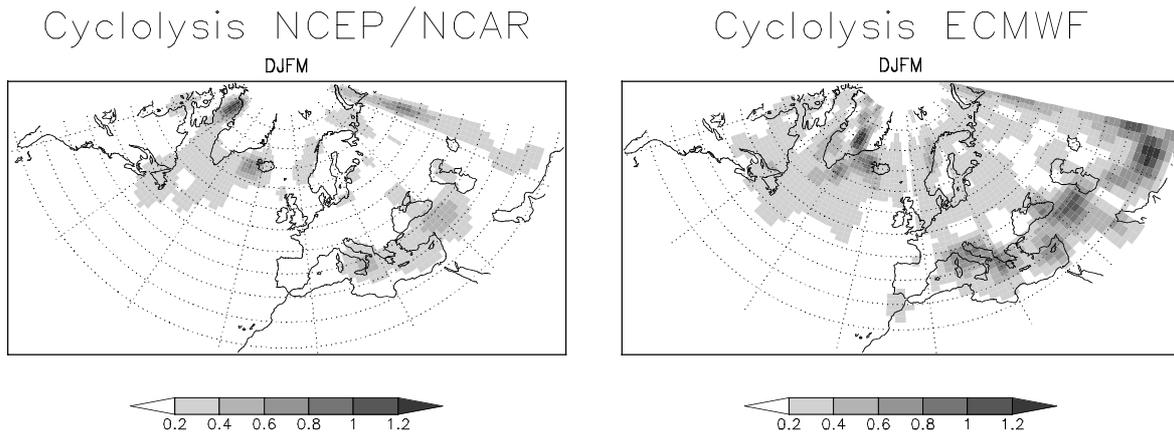


Figura 3 – Como na Fig. 1, mas para a última posição (ciclólise) encontrada para cada sistema depressionário.

3.2 Variabilidade Interanual

Nesta secção iremos analisar a variabilidade interanual da actividade ciclónica em áreas de grande ocorrência de depressões no Atlântico Norte e no Mediterrâneo observada nos dois conjuntos de reanálises. De ora em diante iremos considerar que um determinado centro depressionário pertence a uma determinada região se a posição correspondente à sua pressão mínima (geralmente a posição de intensidade máxima) ocorrer dentro da referida região.

a) Atlântico Noroeste (NW)

Toda a região do Atlântico Norte é caracterizada por grande actividade ciclónica (Fig. 2; Petterssen, 1956; Lefevre e Nielsen-Gammon, 1995). Optou-se por dividi-la em duas áreas para a análise da variabilidade interanual, nomeadamente na região do Atlântico Noroeste (85°W – 40°W; 45°N- 75°N) e Nordeste (40°W – 5°E; 45°N- 75°N), respectivamente. A Fig. 4 mostra o número total de depressões no Atlântico Noroeste (traço contínuo), o número de depressões cuja tendência de pressão é inferior ao percentil 50% (tracejado) e inferior ao percentil 25% (contínuo com ponto), característicos da área em questão. Além da esperada discrepância entre o número de centros encontrados nas reanálises do NCEP/NCAR e do ECMWF, verifica-se que as séries temporais têm variabilidade semelhante. No entanto a série correspondente a todos os centros com pressão mínima ocorrida no Atlântico Noroeste apresenta uma tendência positiva, com pouca expressão ($p < 15\%$ de acordo com um teste de Mann-Kendall, e.g., Yue et al. 2002).

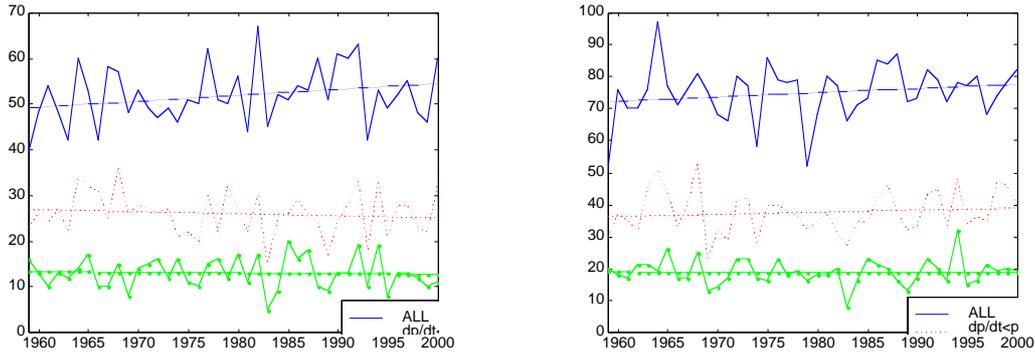


Figura 4 – Séries temporais do número de ciclones de ciclones cuja pressão mínima é atingida no Atlântico Noroeste (linha contínua), obtida para as reanálises do NCEP/NCAR (diagrama da esquerda) e do ECMWF (direita). Apresentam-se ainda o número de pressões com cavamento máximo na área, cuja tendência de pressão mínima (dp/dt) é inferior ao percentil 50% (linha tracejado) e 25% (traço com ponto), respectivamente.

O número de ciclones com cavamento máximo no Atlântico Nordeste (Fig. 5) é fortemente influenciado pela oscilação do Atlântico Norte (NAO; e.g., Serreze et al., 1997). As séries temporais do número de ciclones com o índice da NAO são da ordem de 0.57 (0.48) no caso do ECMWF (NCEP/NCAR), subindo para 0.63 (0.64) no caso dos centros com dp/dt inferior à mediana da região. No entanto, a série de todos as depressões com cavamento máximo no Atlântico Nordeste do ECMWF apresenta uma tendência positiva nos últimos 40 anos, estatisticamente a menos de 1%. No caso do NCEP/NCAR, apenas a série correspondente aos centros mais intensos (com dp/dt inferior ao percentil 25%) apresenta também um aumento significativo (a $p < 5\%$).

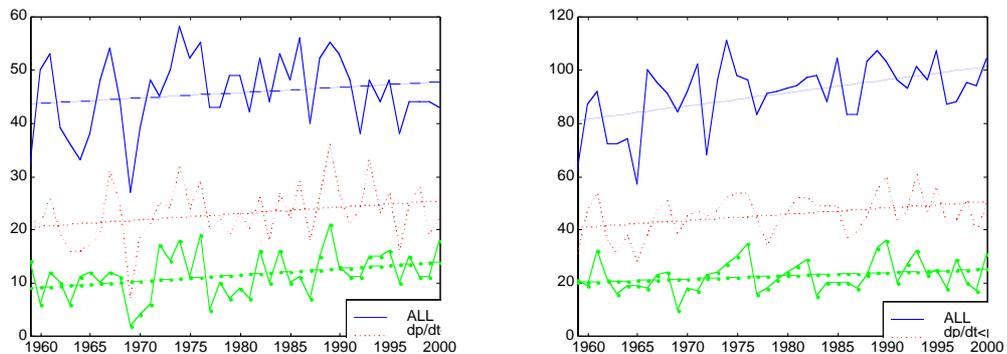


Figura 5 – Conforme a Fig. 4, mas para a região do Atlântico Nordeste.

b) Mediterrâneo

Trigo et al., (2002) realizaram um estudo diagnóstico para identificar os mecanismos de formação dos ciclones no Mediterrâneo e verificaram que existe três áreas com máxima actividade durante o inverno, são elas: o Golfo de Genoa, Mar Egeu e o mar Negro, onde esses sistemas são modulados por depressões sinópticas oriunda do Atlântico Norte que são afectados pela orografia local e/ou baroclinicidade em baixo nível sobre a costa mediterrânea do norte. Esses resultados também são encontrados neste trabalho (Figura 3a e 3b).

Nesta secção iremos aborda a região do Mediterrâneo em duas partes, a primeira apenas a região norte do Mediterrâneo ($15^{\circ}\text{W} - 45^{\circ}\text{E}; 37^{\circ}\text{N} - 47.5^{\circ}\text{N}$) como um todo e a segunda a região norte do Mediterrâneo ($15^{\circ}\text{W} - 45^{\circ}\text{E}; 25^{\circ}\text{N} - 47.5^{\circ}\text{N}$).

As séries correspondentes ao Mediterrâneo Norte encontram-se representadas na Fig. 6. A modulação do número de ciclones no Mediterrâneo Norte pela NAO é evidente em ambos os conjuntos de dados, com correlações de -0.59 (-0.65) obtidas entre o índice da NAO e o número de centros obtidos com o ECMWF (NCEP/NCAR).

Como em situações anteriores, as maiores discrepâncias ocorrem ao nível das tendências obtidas para as últimas 4 décadas. Todas as três séries obtidas a partir dos dados do NCEP/NCAR apresentam decréscimos significativos a menos de 1%. Já no caso do ECMWF, apenas a séries em que se contabiliza todos os centros com cavamento máximo no Mediterrâneo Norte apresenta significância estatística ($p < 3\%$).

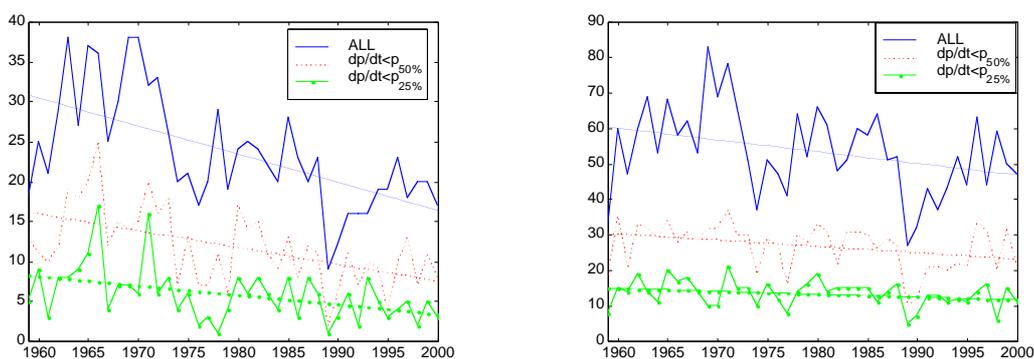


Figura 6 – Conforme a Fig. 4, mas para a região do Mediterrâneo Norte.

A Fig. 7 apresenta as séries temporais dos ciclones que afectam todo o Mediterrâneo. Tal como no caso em que apenas o Mediterrâneo Norte é analisado, a correlação entre o número total de depressões e o índice da NAO é significativo para ambos as reanálises, sendo de -0.63 e -0.71 no caso do ECMWF e NCEP/NCAR, respectivamente. Mais uma vez, as maiores discrepâncias são obtidas ao nível da tendência do número de depressões a afectar o Mediterrâneo como um todo. Neste caso, as três séries apresentadas para o NCEP/NCAR são todas significativas a menos de 3%, ao contrário do que sucede no caso do ECMWF.

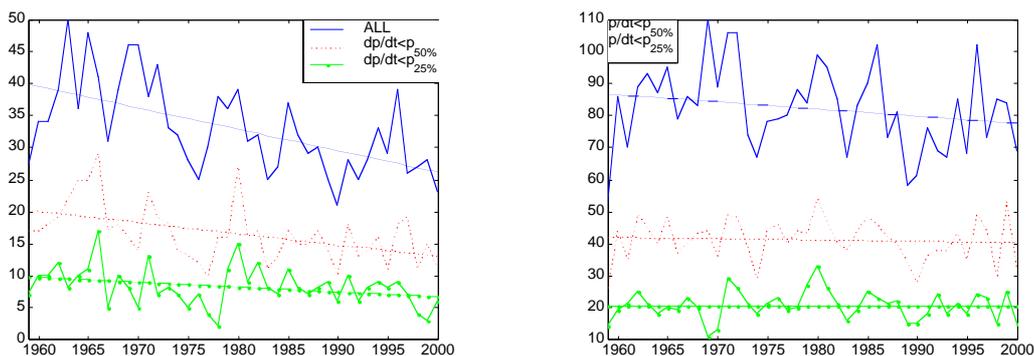


Figura 7 – Conforme a Fig. 4, mas para a região do Mediterrâneo.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Neste estudo analisou-se a distribuição espacial das depressões no sector Euro-Atlântico, obtidas a partir de um método objectivo aplicado às reanálises do ECMWF e do NCEP/NCAR, respectivamente. Verificou-se que, embora o número total de centros detectados nos campos do ECMWF seja superior aos correspondentes do NCEP/NCAR, os padrões de distribuição espacial da génese, do pico de intensidade e da ciclólise dos dois conjuntos de dados são bastante semelhantes.

O estudo da variabilidade interanual do número de depressões que afectam diferentes regiões do domínio, revelou discrepâncias, sobretudo ao nível das tendências observadas em cada um dos dois conjuntos de dados nas últimas 4 décadas. Estas são especialmente pronunciadas na região do Mediterrâneo, onde os dados do NCEP/NCAR apontam claramente para um decréscimo da actividade ciclónica, que não é corroborada pelos resultados do ECMWF. Uma vez que as reanálises do ECMWF têm uma resolução espacial mais fina ($1.125^\circ \times 1.125^\circ$), que a do NCEP/NCAR ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$), uma mudança na escala associada aos eventos detectados nos campos do ECMWF poderia explicar a sua não detecção nos campos equivalentes do NCEP/NCAR, e conseqüentemente as diferenças nas tendências obtidas.

A figura 8 mostra séries temporais dos valores sazonais da mediana, do percentil 25% e do percentil 15% do raio máximo de cada depressão (com cavamento máximo no Atlântico Noroeste, Atlântico Nordeste, e no Mediterrâneo). O raio de cada depressão (conforme definido em Trigo et al., 1999) é estimado calculando a distância ao ponto pela mais próximo do centro do ciclone (i.e., o ponto em que deixamos de ter uma isolinha fechada em torno do centro).

A Fig. 8 mostra que a escala associada aos centros que afectam o Mediterrâneo, com raios médios da ordem dos 650 km, é em geral inferior à dos sistemas no Atlântico Norte, onde o raio médio dos centros é da ordem dos 850 km (e.g., Trigo et al. 1999). Ao contrário das regiões situadas no Atlântico Norte, os valores do raio estimados para o Mediterrâneo Norte (e também para todo o Mediterrâneo) apresentam um decréscimo, significativo a menos de 5%. Esta tendência é verificada quer para a mediana, quer para percentis mais baixos, parecendo indicar uma mudança na escala dos centros na região.

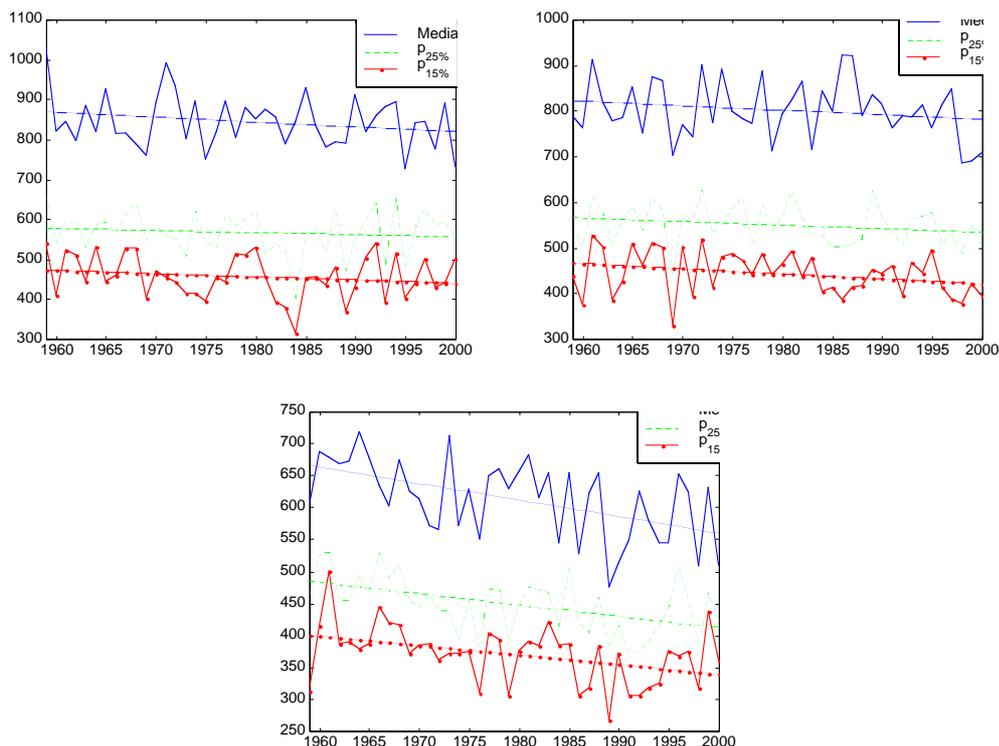


Figura 8 – Séries temporais da mediana sazonal (DJFM) do raio máximo estimado para cada depressão, do percentil 25% e do percentil 15%, obtidos para a região do Atlântico Noroeste (cima à esquerda), Atlântico Nordeste (cima à direita) e para o Mediterrâneo Norte (em baixo).

A variação da escala dos sistemas Mediterrânicos está de acordo com as discrepâncias na variabilidade interanual entre os dois conjuntos de dados para essa região. Já o aumento dos centros no Atlântico Nordeste obtido para o ECMWF (Fig. 5) parece não ser explicado por alterações nas dimensões dos centros, e portanto deverá estar relacionado com diferenças intrínsecas aos campos do geopotencial aos 1000 hPa das reanálises do ECMWF e do NCEP/NCAR.

5. REFERÊNCIAS

- Blender, R., K. Fraedrich, and F. Lunkeit, 1997: **Identification of cyclone track regimes in North Atlantic.** *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **123**, 727–741.
- Higgins, R. W., Y. Yao, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, J. E. Janowiak, C. F. Ropelewski, and R. E. Kistler, 1996: **Intercomparison of the NCEP/NCAR and the NASA/DAO Reanalyses (1985–1993).** *NCEP/Climate Prediction Center ATLAS No. 2*, U.S. Department of Commerce, 169 pp.
- Hodges, K. I., B. J. Hoskins, J. Boyle, and C. Thorncroft, 2003: **A Comparison of Recent Reanalysis Datasets Using Objective Feature Tracking: Storm Tracks and Tropical Easterly Waves.** *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 2012–2037.
- Kalnay, E. Coauthors., 1996: **The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project.** *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437–471.
- Lefevre, R. L., and J. W. Nielsen-Gammon, 1995: **An objective climatology of mobile troughs in the Northern Hemisphere.** *Tellus.*, **47A**, 638–655.

- Murray, R. J., and I. Simmonds, 1991a: **A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: Development and operation of the scheme.** *Aust. Meteor. Mag.*, **39**, 155–166.
- Peixoto, J. P., and A. H. Oort, 1992: **Physics of Climate.** American Institute of Physics, 520 pp.
- Petterssen, S., 1956: **Motion and Motion Systems. Vol. 1. Weather Analysis and Forecasting,** McGraw-Hill, 428 pp.
- Sanders, F., and J. R. Gyakum, 1980: **Synoptic–dynamic climatology of the “bomb.”** *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1589–1606.
- Serreze, M. C., F. Carse, R. G. Barry, and J. C. Rogers, 1997: **Icelandic low cyclone activity: Climatological features, linkages with the NAO, and relationships with recent changes in the Northern Hemisphere circulation.** *J. Climate.*, **10**, 453–464
- Trenberth, K. E., D. P. Stepaniak, J. W. Hurrell, and M. Fiorino, 2001: **Quality of reanalyses in the Tropics.** *J. Climate.*, **14**, 1499–1510.
- Trigo, Isabel F., Davies, Trevor D., Bigg, Grant R. 1999: **Objective Climatology of Cyclones in the Mediterranean Region.** *J. Climate*, **12**, 1685–1696.
- Trigo, Isabel F., Bigg, Grant R., Davies, Trevor D. 2002: **Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean.** *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 549–569.
- Yue, S., P. Pilon, and G. Cavadias. 2002: **Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series.** *J. Hydrol.*, **259**, 254–271.