

A OSCILAÇÃO DO ATLÂNTICO NORTE (NAO) E RISCOS CLIMÁTICOS EM COIMBRA
DURANTE O INVERNO ENTRE 1950 E 2010*

37

Carla Mateus

Aluna do Mestrado em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território
Departamento de Geografia, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra
cppmateus@gmail.com

Lúcio Cunha

Departamento de Geografia, CEGOT, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra
luciogeo@ci.uc.pt

RESUMO

Existe uma relação entre as fases da NAO e as manifestações de risco climático no Inverno em Coimbra entre 1950 e 2010. Verificaram-se períodos com maiores quantitativos pluviométricos, maiores caudais mensais e maior ocorrência de cheias, o que correspondeu a fases negativas da NAO. Em oposição, durante as fases positivas registou-se um abaixamento das temperaturas mínimas, maior número de dias com temperaturas negativas, em Coimbra, e maior ocorrência de ondas de frio, na Região Centro, entre 1983 e 2009.

Palavras-chave: Oscilação do Atlântico Norte, ondas de frio, cheias, prevenção, ordenamento do território.

RESUMEN

La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y riesgos climáticos en Coimbra durante el invierno entre 1950 y 2010 - Existe una relación entre las fases de la NAO y las manifestaciones de lo riesgo climático en el invierno de 1950 y 2010 en Coimbra. Hubo períodos de mayores precipitaciones cuantitativos, el aumento de las tasas de flujo y una mayor ocurrencia mensual de las inundaciones, lo que corresponde a las fases negativas de la NAO. En contraste, durante las fases positivas se produjo un descenso de las temperaturas mínimas, más días com temperaturas $\leq 0^{\circ}\text{C}$, en Coimbra, y una mayor ocurrencia de olas de frío en el caso de la Región Central entre 1983 y 2009.

Palabras clave: Oscilación del Atlántico Norte, olas de frío, inundaciones, prevención, planificación del uso del suelo.

RÉSUMÉ

L'oscillation nord-atlantique (NAO) et risques climatiques durant l'hiver à Coimbra entre 1950 et 2010 - Il ya une relation entre les phases de la NAO et les manifestations du risque climatique en hiver à Coimbra entre 1950 à 2010. Il y avait des périodes avec plus fortes précipitations quantitatives, des débits plus élevés et une plus grande occurrence mensuelle des inondations, ce qui correspondait à las phases negativas de la NAO. En revanche, lors de las phases positives, il ya eu une diminution de la temperature minimale, plus jour avec des températures $\leq 0^{\circ}\text{C}$, à Coimbra et, fréquence plus élevée de vagues de froid dans le cas de la région centrale de 1983 à 2009.

Mots-clé: Oscillation Nord-Atlantique, vagues de froid, inondations, prévention, aménagement du territoire.

ABSTRACT

The North Atlantic Oscillation (NAO) and climate risks during winter in between Coimbra 1950 and 2010 - There is a relationship between the phases of the NAO and the manifestations of climatic risk recorded in the winter of 1950 and 2010 in Coimbra. There were periods with higher quantitative rainfall, higher flow rates and higher monthly occurrence of floods, wich corresponded to the negatives phases of NAO. In contrast, during the positives phases there was a lowering of minimum temperatures, more days with temperatures $\leq 0^{\circ}\text{C}$, in Coimbra, and a greater occurrence of cold waves in the case of the Central Region from 1983 and 2009.

Keywords: North Atlantic Oscillation, cold waves, floods, prevention, land use planning.

* O texto deste artigo corresponde à comunicação apresentada ao VII Encontro Nacional de Riscos e I Forum ISCIA, tendo sido submetido para revisão em 07-11-2012, e aceite para publicação em 12-11-2012.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 20, 2013, © Riscos, ISBN: 0872- 8941.

Introdução

O objetivo deste trabalho consiste em estabelecer uma relação entre as fases, positiva e negativa, da NAO (North Atlantic Oscillation) com manifestações de riscos climáticos e hidrológicos na cidade em Coimbra, relativamente a temperaturas mínimas e a cheias entre 1950 e 2010, e ondas de frio para o caso da Região Centro entre 1983 e 2009.

Foram definidos, como objetivos secundários, caracterizar a NAO e avaliar as consequências das respetivas fases no Inverno, apresentar a evolução do índice da NAO entre 1950 e 2010, tomar consciência da sua importância para a probabilidade de ocorrência de processos climáticos perigosos e, deste modo, demonstrar o carácter participativo e interventivo da Geografia e, em particular, da Climatologia e no processo de Ordenamento do Território.

“A variabilidade do clima conjugada com a vulnerabilidade humana perante algumas situações meteorológicas adversas constitui o risco climático” (J. MARQUES e S. ANTUNES, 2009: 50, com base em M. ALCOFORADO, 2000).

Apesar de se tratar de um trabalho de carácter exploratório e com forte cariz teórico, parece-nos fazer sentido tentar conhecer as influências que, no Inverno, as fases da NAO têm no comportamento térmico e pluviométrico, bem como avaliar as suas consequências em termos de riscos climáticos e hidrológicos, no sentido de se tomarem medidas preventivas face a esses riscos.

Metodologia

Para averiguar a existência de relação entre as fases da NAO e as manifestações de risco climático registado no Inverno em Coimbra entre 1950 e 2010, a metodologia seguida incidiu, primeiramente, na pesquisa de bibliografia sobre a NAO, publicada, quer em Portugal, quer no estrangeiro, tendo em vista um conhecimento mais profundo da temática em análise.

Posteriormente consultaram-se boletins meteorológicos mensais do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC), para recolha dos valores de temperatura média das mínimas mensais e dos totais de precipitação mensal para Coimbra, referentes aos meses de Dezembro a Fevereiro dos anos hidrológicos de 1950 a 2010. Consultaram-se, também, valores concernentes a caudais mensais no rio Mondego, em Coimbra, medidos na ponte de Santa Clara e, em caso de falta de dados, medidos na ponte-açude. Foram utilizados dados sobre ondas de frio para a região Centro, desde 1983 a 2009, com o intuito de averiguar a relação com as fases da NAO. A identificação e caracterização das ondas de frio foram recolhidas em L. CUNHA e C. LEAL, 2011) e L. CUNHA, 2012.

R. TRIGO *et al.* (2002: 6) referem que a precipitação registada no período de Novembro a Março é afetada pela NAO. Saliente-se que a escolha dos meses em estudo teve por base a elaboração de um gráfico com diversas séries de meses relativos aos valores da NAO, analisando-se a primeira série correspondente aos meses de Outubro a Março, a segunda respeitante aos meses de Novembro a Março e a terceira concernente ao período de Dezembro a Fevereiro que se revelou mais apropriada devido à ação da NAO se patentear com maior intensidade neste período temporal, razão pela qual foi adotado neste trabalho.

Neste estudo, privilegiou-se a elaboração de gráficos com o intuito de melhor representar e relacionar a informação trabalhada. Primeiramente construiu-se um gráfico dos valores da NAO entre 1950 e 2010 durante os meses de Dezembro a Fevereiro, procurando-se estabelecer algumas tendências ao longo desse período. Os valores da NAO foram retirados do sítio web da NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>).

Depois, relacionou-se a variação da precipitação para cada mês em estudo com os valores da NAO e, mais tarde, a soma da precipitação mensal desses meses e com os valores médios da NAO. Do mesmo modo, se comparou a temperatura média das mínimas mensais de Dezembro, Janeiro e Fevereiro e a média desses meses com os valores da NAO. Para se atingir uma análise mais completa relacionou-se a variação do número de dias com temperatura mínima inferior a 0°C em Dezembro, Janeiro, Fevereiro e a soma desses meses com os valores da NAO para esse período. Mais ainda, estabeleceu-se a comparação entre a variação do caudal médio mensal em Dezembro, Janeiro, Fevereiro e a média desses meses com os valores da NAO. Seguidamente, desenvolveu-se a conexão entre o número de ocorrências de caudal médio diário ≥ 1000 m³ em Dezembro, Janeiro, Fevereiro e a soma desses meses com os valores da NAO.

Por uma questão de espaço, só serão apresentados os resultados relativos à soma e/ou média do conjunto dos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro.

Área de estudo

A área em estudo tem por referência principal a cidade de Coimbra (fig. 1), mas estende-se no caso na análise das ondas de frio ao espaço da Região Centro de Portugal. Do ponto de vista térmico, Coimbra, embora não seja afetada de modo drástico por ondas de frio, devido à relativa proximidade ao oceano a que se abre através da planície do Baixo-Mondego, pode apresentar, no Inverno, vários dias com temperaturas mínimas negativas. Do ponto de vista hidrológico, a cidade tem uma grande

tradição de cheias e inundações (ultimamente com menor gravidade devido à regularização dos caudais do Mondego através da Barragem da Aguieira) e mesmo de cheias rápidas com inundações urbanas, alvo de estudo, a título de exemplo, PAIVA (2005), LOURO e LOURENÇO (2005) e REBELO (2010) em grande parte fruto do crescente processo de urbanização e consequente impermeabilização do solo.

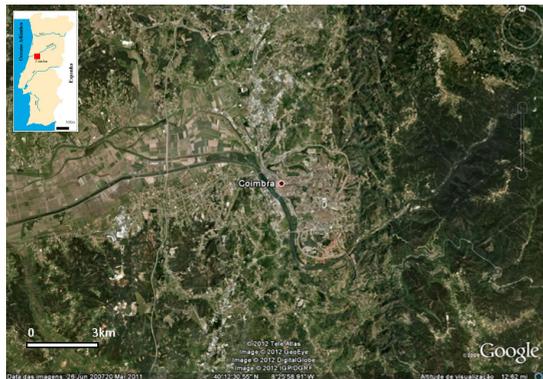


Fig. 1 - Localização da cidade de Coimbra. Fonte: Google Earth.

Estado da arte

Os estudos científicos que dizem respeito à NAO foram realizados maioritariamente a nível internacional. Ainda assim, a nível nacional, destacam-se os trabalhos de D. B. FERREIRA (1984; 1985; 2005a; 2005b) com o estudo das relações oceano-atmosfera e de R. TRIGO *et al.* (2002 a; b) ao estabelecer uma relação entre a influência da NAO no clima do continente europeu e no caudal dos rios ibéricos atlânticos, ou seja, Douro, Tejo e Guadiana. Indiretamente refere-se a influência da NAO em R. TRIGO e C.C. CÂMARA (2000) que estudam algumas influências sobre o regime da precipitação em Portugal. Os estudos sobre a ocorrência de precipitação e, particularmente, sobre paroxismos pluviométricos são mais abordados em Portugal, referindo-se M. L. BETTENCOURT (1984) ao analisar a frequência de anos secos e chuvosos em Portugal; C. BRANDÃO (1995) que analisa precipitações intensas; N. GANHO (2002) que estuda o paroxismo pluviométrico ocorrido em Coimbra no ano hidrológico de 2000/2001; P. T. GOMES (1994; 1998) sobre a variabilidade climática em Portugal durante o século XX e a variabilidade da precipitação em Portugal e relações com o sistema oceano-atmosfera do Atlântico Norte; J. C. MENDES e M. F. COELHO (1993) que examinam a variabilidade climática em Portugal ao nível da precipitação; C. RAMOS (1987) que trabalhou a influência das situações anticiclónicas no regime de precipitação em Portugal e F. BOTELHO e N. GANHO (2012) ao examinarem episódios de frio extremo em Portugal Continental.

No panorama internacional refiram-se I. W. HURREL *et al.* (2003) que estabelecem os princípios gerais desta teoria explicativa da dinâmica atmosférica; T. N. KRISHNAMURTI (1961), que analisa o comportamento da corrente de jato subtropical no Inverno; KUSHNIR (1994), que examina

as variações nas últimas décadas da temperatura da superfície do mar e as respetivas condições atmosféricas ao nível do Atlântico Norte; T. J. OSBORN *et al.* (1998) que estudam a NAO atendendo a uma simulação de um modelo climático; S. RAHMSTORF (2002) que avalia a circulação ao nível do oceano e a sua influência no clima nos últimos 120 000 anos; J. C. ROGERS (1997) que salienta a variabilidade climática do Norte da Europa associada à faixa de tempestades da NAO; U. ULBRICHT *et al.* (1999) que analisam a dependência da precipitação no Inverno em Portugal decorrente da NAO e de ondas baroclínicas e J. WALLACE (1999) que incide nas fases da NAO. N. BACHAMANN (2007) indica mecanismos e perspectivas futuras; N. P. GILLET *et al.* (2003) debruçam-se sobre a NAO e mudanças climáticas; P. T. GOMES (2001) que trabalha com a inter-relação da NAO com as variações da precipitação na Península Ibérica; C. RODRIGUES-PUEBLA *et al.* (1998) trabalham os padrões espaciais e temporais da variabilidade da precipitação anual da Península Ibérica; HURREL (1995) estuda as tendências ao nível regional no Atlântico Norte relativas à precipitação e à temperatura; J. H. HURREL e H. VAN LOON (1997) seguem o mesmo fio condutor de análise das variações nos elementos climáticos, principalmente temperatura e precipitação ao longo das últimas décadas; No caso do impacto da NAO na temperatura média na Europa, R. TRIGO *et al.* (2002) apontam a relevância dos estudos de J. H. HURREL (1996) e de T. J. OSBORN *et al.* (1999) e, relativamente a temperaturas extremas, citam D. THOMPSON e J. WALLACE (2001) e R. TRIGO *et al.* (2002).

Oscilação do Atlântico Norte (NAO)

Definição e fases (positiva e negativa)

A NAO corresponde a um fenómeno climático que explica a circulação atmosférica ao nível do Atlântico Norte e das áreas continentais que estão próximas, Europa e fachada Leste da América do Norte. Trata-se de uma oscilação, no campo da pressão atmosférica ao nível do mar, com diferentes períodos, medido pela intensidade da diferença de pressão entre a faixa das altas pressões subtropicais (coincidindo com as proximidades latitudinais do Arquipélago dos Açores) e a faixa de baixas pressões subpolares (coincidindo com as proximidades latitudinais da Islândia).

Este fenómeno oscilatório que constitui uma interação entre o oceano e a atmosfera, manifesta-se em duas fases distintas ou mesmo opostas, positiva ou negativa, com consequências bastante diferentes nas condições meteorológicas, sobretudo no decorrer do Inverno, durante o qual tem maior importância.

É possível a utilização de várias estações meteorológicas (fig. 2) na área de influência das altas pressões subtropicais (Ponta Delgada, Lisboa ou Gibraltar) conjugadas com

outras situadas na Islândia na área das baixas pressões subpolares (Stykkisholmur, Akureyri ou Reiquejavique). J. C. ROGERS (1984) utiliza para a medição da NAO as estações de Akureyri, na Islândia, e Ponta Delgada, nos Açores; por oposição, J. W. HURREL (1995a) utiliza as estações de Lisboa e de Stykkisholmur. Todavia, estes Autores estabeleceram correlações sazonais entre Dezembro e Março para as diversas estações e concluíram que o uso de Akureyri ou de Stykkisholmur não altera de modo significativo os resultados obtidos, mas no caso das estações utilizadas a Sul, as influências das faixas de altas pressões subtropicais são bem diferenciadas nas estações de Lisboa e de Ponta Delgada, verificando-se uma ligeira migração, desses centros de pressão, para oeste durante o período de Primavera-Verão (J. W. HURREL e H. VAN LOON, 1997).



Fig. 2 - Estações meteorológicas utilizadas para calcular o índice da NAO. Fonte: Google Earth.

No entanto, a avaliação da NAO não se deve resumir a uma mera diferença de pressão entre duas estações situadas em áreas de influência das altas pressões subtropicais e das baixas pressões subpolares, sendo, em regra, efetuados cálculos mais complexos como diferenças normalizadas ou, mesmo, através da análise de componentes principais do campo de pressão ao nível médio do mar como refere R. TRIGO *et al.* (2002: 8), citando WALLACE e GUTZLER (1981), BARNSTON e LIVEZEY (1987), bem como J. M. WALLACE (2000), que defendem que uma simples diferença de pressão não é suficiente nem representativa da variabilidade inerente aos centros de pressão, dependendo o valor da análise de componentes principais da extensão temporal e espacial utilizadas. Ainda de acordo com R. TRIGO *et al.* (2002) para a análise da atividade ciclónica e da trajetória das depressões têm sido usadas técnicas que incluem algoritmos complexos para análise de enormes bases de dados de pressão ao nível médio do mar.

Como é natural, a alternância de fases na NAO tem implicações diretas nos valores da temperatura e da precipitação das diferentes áreas atlânticas que se situam entre os 30° e os 60° de latitude. De acordo com U. ULBRICH *et al.*, (1999), referindo LAMB e PEPPELER (1987), a maior influência da NAO nos quantitativos de

precipitação foi verificada na costa norte-africana e em algumas partes no Sul da Península Ibérica, referindo Rodo *et al.* (1997).

Por outro lado J. W. HURREL e H. VAN LOON (1997: 69) indicam que nas últimas décadas ocorreram mudanças na circulação atmosférica regional durante o Inverno sobre as bacias oceânicas do Hemisfério Norte, gerando impacto na distribuição regional da temperatura e da precipitação, mas no caso das variações sobre o Atlântico Norte, estas estão relacionadas, sobretudo, com as variações das fases da NAO. Por exemplo, no caso da década de 1980 condições mais húmidas do que o habitual foram registadas no Norte da Europa, como no caso de algumas áreas da Escandinávia, em oposição a condições anormalmente secas que foram verificadas no Sul da Europa e Mediterrâneo; no caso dos Alpes foi registada uma diminuição da quantidade de queda de neve, bem como da sua duração. Dentro dos fatores responsáveis por esses acontecimentos destacam-se a mudança das *westerlies* do Atlântico em direção à Europa, relacionados com as fases da NAO, no caso com predomínio de fases positivas, que reforçam a intensidade das perturbações da frente polar nos sectores mais a Norte e deixam toda a Europa do Sul numa situação de abrigo anticiclónico.

Não se sabe, ainda, na totalidade, o que está por trás da oscilação e da duração das suas fases, o que poderia ser significativamente útil para fazer previsões.

Na fase positiva da NAO, quando a pressão atmosférica é muito elevada nos Açores e na Islândia se verificam pressões muito baixas, ou seja quando estes centros de ação estão reforçados, a Europa do Norte é afetada por tempestades devido aos ventos do quadrante oeste que transportam ar húmido, em contraste com a bacia mediterrânea afetada essencialmente por ar mais frio e seco, desencadeando um Inverno com menores quantitativos de precipitação (fig. 3).

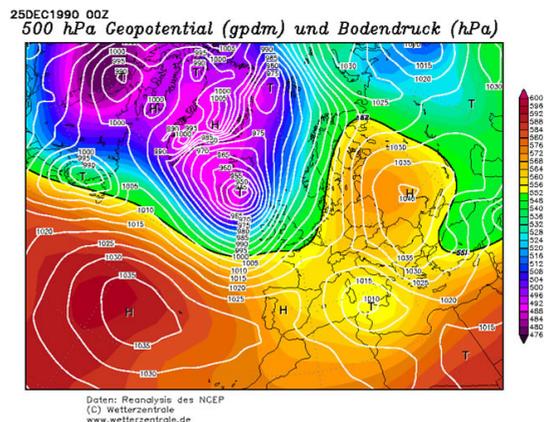


Fig. 3 - Fase positiva da NAO. O exemplo do dia 25 de Dezembro de 1990.

Fonte: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsreaur.html>.

Por oposição, quando a pressão é mais baixa nos Açores, isto é, quando os anticiclones não são tão fortes e quando

a pressão é mais alta na Islândia, ou seja, quando as depressões não são tão cavadas, está-se perante a fase negativa da NAO. De acordo com U. ULBRICH *et al.* (1999) um índice de NAO negativo está associado também a vento de direção oeste, mas com abrandamento da circulação zonal (R. TRIGO *et al.*, 2002). Assim, nesta fase a bacia mediterrânea é afetada maioritariamente pela trajetória das depressões que estão mais intensificadas em direção a Sul, enquanto na Europa do Norte não se desenvolvem tantas tempestades, correspondendo a um Inverno mais seco (fig. 4).

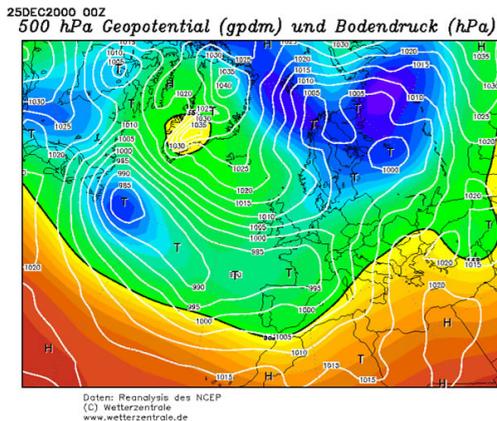


Fig. 4 - Fase negativa da NAO. O exemplo do dia 25 de Dezembro de 2000.

Fonte: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsraeur.html>.

Quanto às tendências gerais da NAO (fig. 5), verificaram-se ciclos maiores de cerca de uma dezena de anos, com algumas décadas positivas: 20, 40, 70 e 90 do século passado, mas também décadas negativas: 10 e 60 (esta última, a mais intensa). Estes ciclos enquadram ciclos menores com períodos de 1 a 4 anos.

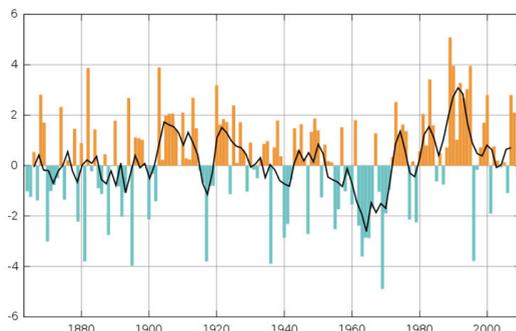


Fig. 5 - Tendências gerais da NAO desde 1864.

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/North_Atlantic_oscillation (acesso em 29/10/2012).

Importa referir que as fases da Oscilação Ártica (AO) vão influenciar as fases da NAO (fig. 6, 7 e 8). Na fase negativa da Oscilação Ártica, estando o anticiclone ártico mais fraco, ocorre a circulação ondulatória do jacto polar, ao passo que na fase positiva o anticiclone é mais intenso e expele mais ar. Assim, a inter-relação da NAO com a Oscilação Ártica diz respeito à concordância da pressão entre as respetivas fases e da intensidade da depressão da Islândia com o anticiclone ártico, isto é, quando a AO está na fase positiva ajuda a intensificar a fase positiva

da NAO, sendo a circulação predominantemente zonal, e ao invés, na fase negativa a circulação tende para um carácter mais ondulatório.

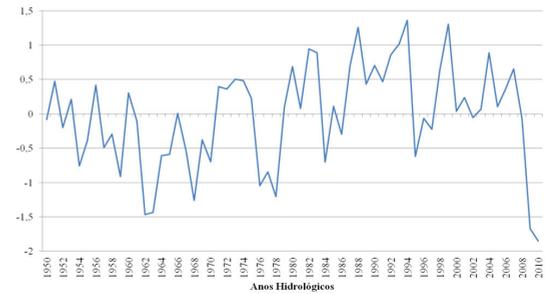


Fig. 6 - Série temporal da NAO (DJF) entre 1950-2010. Fonte: Valores da NAO em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>).

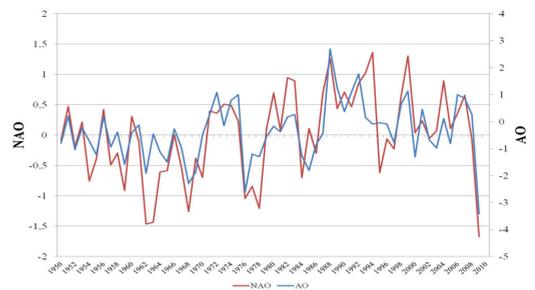


Fig. 7 - Séries temporais da NAO e da Oscilação Ártica (DJF) entre 1950-2010.

Fonte: Valores da NAO em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>).

Fonte: Valores da Oscilação Ártica em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii.table).

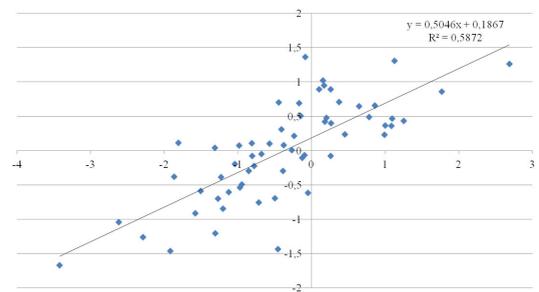


Fig. 8 - Correlação entre as séries da NAO e da Oscilação Ártica (DJF) entre 1950-2010.

Fonte: Valores da NAO em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>).

Fonte: Valores da Oscilação Ártica em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii.table).

N. P. GILLET *et al.* (2000) investigaram mudanças no Hemisfério Norte, a nível da circulação atmosférica, a fim de detetar possíveis alterações climáticas derivadas da atividade humana. No caso da Oscilação Ártica registou-se um aumento do seu índice em invernos

recentes no período correspondente de Janeiro a Março, nomeadamente desde a década de 1960; porém, ainda não se chegou a um consenso relativamente às causas que estão subjacentes a essas variações, se a diminuição da camada do ozono, o reforço do efeito de estufa ou outras de ordem natural ou humana.

Dada a influência das fases da NAO sobre as temperaturas e as precipitações na fachada ocidental da Europa, aceita-se também a sua influência nos principais tipos de riscos climáticos em Portugal.

No caso de uma NAO com índice negativo, o Inverno será à partida bastante pluvioso (fig. 9, 10, 11 e 12), levando ao aumento dos caudais dos rios (R. TRIGO *et al.*, 2002), possibilitando a ocorrência de cheias progressivas e, também, de inundações rápidas em espaço urbano (fot. 1, 2 e 3). Segundo R. TRIGO *et al.* (2002: 23) o impacto da NAO em maiores quantitativos pluviométricos na Península Ibérica decorre, sobretudo, no seu sector oeste, ou seja, em Portugal, e a sul, na área de Andaluzia.

Pelo contrário, uma NAO com índice positivo tenderá a ser responsável por um Inverno mais seco, provocando a diminuição das temperaturas mínimas, chegando frequentemente a valores iguais ou inferiores a 0°C

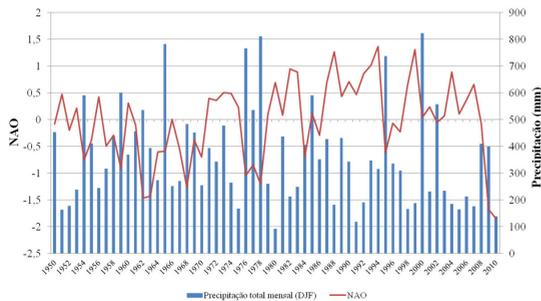


Fig. 9 - Precipitação mensal (DJF) em Coimbra e NAO.
 Fonte: Valores da NAO em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>). Valores da precipitação mensal do IGUC.

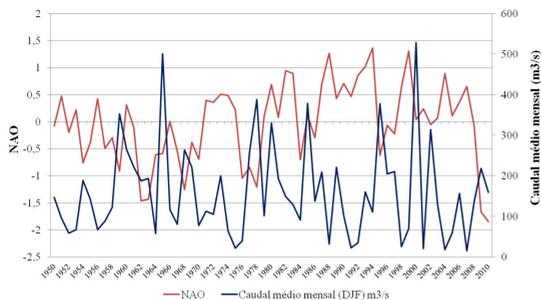


Fig. 10 - Caudal mensal (DJF) do rio Mondego em Coimbra e NAO.
 Fonte: Valores da NAO em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>). Valores dos caudais em SNIRH e ARH-Centro.

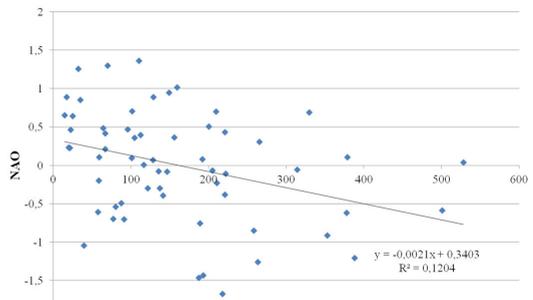


Fig. 11 - Correlação entre o caudal mensal (DJF) do rio Mondego em Coimbra e a NAO.
 Fonte: Valores da NAO em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>). Valores dos caudais do SNIRH e ARH-Centro.

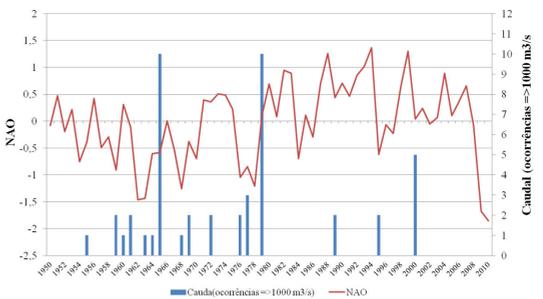


Fig. 12 - Número de ocorrências de caudal médio diário igual ou superior a 1000 m³/s no rio Mondego em Coimbra e a NAO.
 Fonte: Valores da NAO em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>).



Fot. 1 - Mosteiro de Santa Clara-a-Velha inundado em 27 de janeiro de 2001. Fonte: Lucio CUNHA, 2001.



Fot. 2 - Efeito das inundações progressivas na área da beira-rio em 27 de janeiro de 2001. Fonte: Lucio CUNHA, 2001.



Fot. 3 - Estradas inundadas em S. João do Campo no dia 27 de janeiro de 2001. Fonte: Lucio CUNHA, 2001.

(fig.13,14 e 15) ou constituindo ondas de frio (QUADRO I), responsáveis por impactes importantes em atividades económicas dependentes das condições climáticas decorrentes, como é o caso da agricultura, mas tendo também impactes na saúde da população, sobretudo nos grupos mais vulneráveis como doentes crónicos, idosos ou crianças. No caso de Coimbra, destaca-se a onda de frio de 1983, tendo sido o último ano em que nevou nesta cidade (fot. 4).

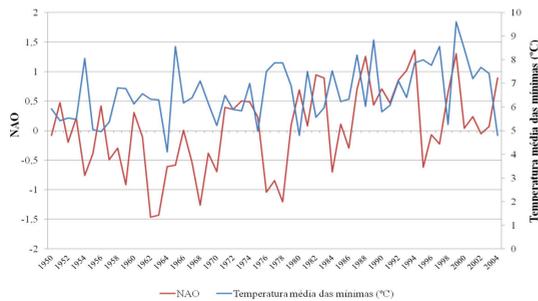


Fig. 13 - Temperatura média das mínimas mensais (DJF) e NAO entre 1950-2005.

Fonte: Valores da NAO em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.ao.monthly.b5001.current.ascii.table>). Valores da temperatura média das mínimas mensais do IGUC).

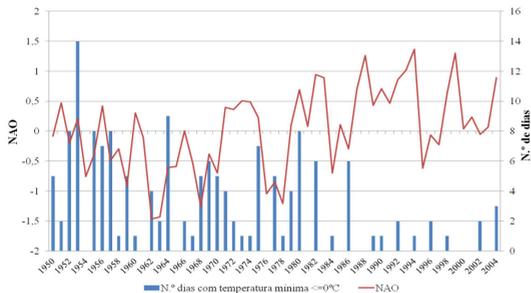


Fig. 14 - Número de dias com temperatura mínima diária igual ou inferior a 0°C (DJF) entre 1950 e 2005.

Fonte: Valores da NAO em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.ao.monthly.b5001.current.ascii.table>).

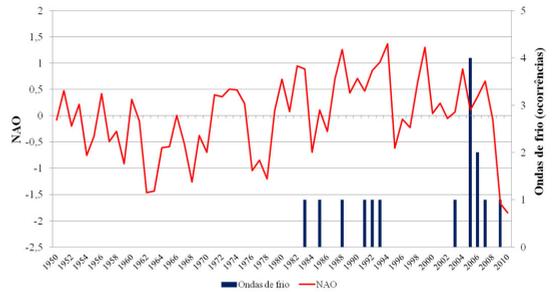


Fig. 15 - Ondas de frio na Região Centro de Portugal Continental entre 1983 e 2009 e NAO.

Fonte: Valores da NAO em NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.ao.monthly.b5001.current.ascii.table>). Dados das ondas de frio de CUNHA e LEAL (2011).

QUADRO I - Ondas de frio na Região Centro de Portugal Continental entre 1983 e 2009.

Anos	Ondas de frio	N.º de dias
1983	6-17 fevereiro	12
1985	6-17 janeiro	12
1988	7-21 dezembro	15
1991/1992	21 dezembro - 7 janeiro	18
1993	27 fevereiro - 7 março	9
2003	9 - 17 janeiro	9
2005	3-12 janeiro	10
	25 janeiro - 11 fevereiro	18
	24 fevereiro - 11 março	16
	11 - 24 dezembro	14
2006	26 janeiro - 2 fevereiro	8
	19 - 27 dezembro	9
2007	11 - 18 dezembro	8
2009	6 - 12 janeiro	7

Fonte: CUNHA e LEAL, 2013.



Fot. 4 - Queda de neve em Coimbra em Fevereiro de 1983. Fonte: <http://coimbraantiga.blogspot.pt> (acesso em 10/04/2012).

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial, considera-se uma onda de frio quando num intervalo temporal de no mínimo seis dias consecutivos, a temperatura mínima diária é inferior em 5°C ao valor mínimo mensal no período de referência, ou seja, estabelecido pelas normais climatológicas ao longo de 30 anos.

Embora haja autores que procuram identificar possíveis alterações climáticas através da sequência de fases da NAO, como R. P. GILLET *et al.* (2003), esta relação parece ainda não estar provada nem sequer consensualizada entre a comunidade científica.

Como referimos, as fases negativas da NAO traduzem-se no Inverno português por precipitação mais elevada que o habitual, com possível tradução em caudais também elevados. É o que acontece, por exemplo, nos invernos de 1976, 1978, 1985, 1995 e 2000.

Neste último caso, ou seja no Inverno de 2000/2001 face à precipitação continuada que ocorreu no nosso país e, particularmente na região Centro (N. GANHO, 2002; L. CUNHA e L. DIMUCCIO, 2002) verificaram-se inundações no Rio Mondego, quer em Coimbra, quer sobretudo na planície aluvial a jusante. Segundo A. C. ALMEIDA *et al.* (2000: 33) "*os valores estimados para a cheia centenária, que é de 1.200 m³/s em Coimbra, foram por várias vezes ultrapassados causando pequenas inundações e estragos nos diques do Baixo Mondego, até que nos dias 26 e 27 de Janeiro de 2001 um pico de cheia que atingiu 1990 m³/s em Coimbra provocou a inundação dos campos do Mondego*", apanhando de algum modo de surpresa populações, técnicos e decisores políticos que entendiam que o conjunto de obras de regularização e, particularmente, o sistema Açude-Raiva-Agueira-Fronhas, teria resolvido, em definitivo, o problema das inundações no Baixo Mondego.

Também no caso do frio, visto através dos valores médios das temperaturas mínimas, do número de dias com temperaturas negativas ou das ondas de frio na Região Centro, se verifica uma associação com as fases positivas da NAO. Apontam-se como exemplo do que afirmamos, os invernos de 1988 a 1993 e de 2005 a 2007 que coincidiram com fases fortemente positivas da NAO.

Conclusão

Através dos exemplos mostrados atrás, nota-se uma clara relação entre as fases da NAO e as manifestações de alguns riscos climáticos. Durante a fase negativa, na cidade de Coimbra, registaram-se maiores quantitativos pluviométricos, propícios ao desenvolvimento de situações de cheias e inundações progressivas, bem como, por vezes, de inundações rápidas urbanas. Na fase positiva da NAO ocorreu o abaixamento das temperaturas mínimas e um maior número de dias com temperaturas mínimas $\leq 0^{\circ}\text{C}$ em Coimbra. Na região centro verificou-se maior ocorrência de ondas de frio, embora se trate de uma relação menos vincada que a anterior.

Não podemos controlar o clima! Mas urge a necessidade de um melhor ordenamento do território, da prevenção de riscos hidrológicos e climáticos, sobretudo através da diminuição das vulnerabilidades.

Ora, de acordo com a variação das fases da NAO, no Inverno, entre 1950 e 2010 verificaram-se períodos com maior incidência de cheias correspondentes a fases negativas da NAO que assumiu esta tendência até 1979, ano a partir do qual existiu uma tendência para apresentar índices mais elevados. No entanto, na década de 1980 são construídas as barragens da Agueira, Fronhas e Raiva, bem como o açude-ponte de Coimbra, que amortecem a ponta de cheia e controlam as inundações do Baixo Mondego.

A prevenção de riscos climáticos (ondas de frio) e climático-hidrológicos (cheias e inundações) ocorridos durante o Inverno deverá assumir maior destaque em Portugal, urgindo a diminuição dos processos perigosos relacionados com as manifestações dos extremos climáticos e a redução das vulnerabilidades, tanto ao nível da exposição de pessoas e bens, como ao nível da chamada vulnerabilidade social (L. CUNHA *et al.*, 2010; J. C. MENDES *et al.*, 2011).

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, A. C. de; SOARES, A. F.; SANTOS, J.G.; CUNHA, L.; TAVARES, A. (2000) - "*O "sentir" da população sobre a transformação dos campos do Baixo Mondego*", *Cadernos de Geografia*, nº19, Coimbra FLUC, pp.19-41.
- BACHAMANN, Nina (2007) - *The North Atlantic Oscillation (NAO) Research, mechanisms and future outlook*, 17p. http://www.up.ethz.ch/education/term_paper/termpaper_hs07/BACHMANN_rev_termpaper_hs07.pdf (acesso em 19/09/2011).
- BARRY, R. G. e CHORLEY, R. J. (1999) - *Atmosfera, Tiempo y Clima* (trad. cast., 7ª ed.), Omega, Barcelona, 441p.
- BETTENCOURT, M. L. (1984) - *Frequência da ocorrência de anos secos e chuvosos em Portugal*. O clima de Portugal, fascículo XXX, Lisboa, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 49p+anexos.
- BOTELHO, Filipe e GANHO, Nuno (2012) - "Episódios de frio extremo em Portugal Continental: análise comparativa de episódios de frio seco e de frio com neve a cotas baixas". *Revista Geonorte*, edição Especial, V.2, N.4, p.857-869.
- BRANDÃO, Cláudia (1995) - *Análise de precipitações intensas*. Dissertação de mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Lisboa, Instituto superior técnico, 178p+anexos.
- CUNHA, Lúcio (2012) - "Riscos climáticos no Centro de Portugal. Uma leitura geográfica." *Revista Geonorte*, Edição Especial, Manaus, V.4, N.4, p.105-115.

- CUNHA, Lúcio e DIMUCCIO, Luca (2002) - "Considerações sobre riscos naturais num espaço de transição. Exercícios cartográficos numa área a sul de Coimbra." *Territorium*, Coimbra, 9, pp.37-51.
- CUNHA, Lúcio e LEAL, Cátia (2013) - "Ondas de calor e ondas de frio no município de Torres Novas". Coimbra, *Cadernos de Geografia*, n.º 32, pp.81-93.
- CUNHA, Lúcio; MENDES, José Manuel; TAVARES, Alexandre; FREIRA, Susana (2011) - "Construção de modelos de avaliação de vulnerabilidade social a riscos naturais e tecnológicos. O desafio das escalas.". In SANTOS, Norberto e CUNHA, Lúcio (coord.) *Trunfos de uma Geografia Activa*. Desenvolvimento local, ambiente, ordenamento e tecnologia. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, pp.627-637.
- FEIO, M.; HENRIQUES, V. (1986) - *As secas de 1980-81 e de 1982-83 e as principais secas anteriores. Intensidade e distribuição regional*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos n.º10, Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, 113p.
- FERREIRA, A. Brum; FERREIRA, D. Brum (1983) - "A seca de 1980-81 em Portugal. Causas aerológicas e tipos de tempo". *Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia*, vol. XVIII, n.º35, Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, pp.27-63.
- FERREIRA, D. Brum (1984) - "L'upwelling Ouest Ibérique et causes aérologiques". *Met Mar*, n.º123, Boulogne Billancourt, Direction de la Météorologie, pp.4-16.
- FERREIRA, D. Brum (1985) "Les depressions convectives du Bassin Atlântique Nord Subtropical oriental." *Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia*, vol. XX, n.º39, Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, pp.25-45.
- FERREIRA, D. Brum (1993) - "Estrutura e dinâmica da camada limite da atmosfera. Implicações geográficas". *Estudos de Geografia Física e Ambiente, Relatório n.º32, Linha de Acção de Geografia Física*; Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, pp.57-97.
- FERREIRA, D. Brum (2005) "O ambiente climático" pp.305-385 in MEDEIROS, Carlos Alberto (coord.) *Geografia de Portugal*. Círculo de Leitores. Lisboa.
- GANHO, Nuno (2000) "Catalogação e transfiguração numérica de situações sinópticas no contexto das metodologias subjectivas - nota sobre uma proposta metodológica". *Cadernos de Geografia*, n.º19, Coimbra, pp.175-180.
- GANHO, Nuno (2002) - "O "paroxismo" pluviométrico de 2000/2001 em Coimbra. Um nota sobre o montante dos riscos naturais e da crise". *Territorium*, Coimbra, 9, pp.5-11.
- GILLET, N.P.; GRAF, H.F.; OSBORN, T.J. (2003) - "Climate change and the North Atlantic Oscillation", pp.193-209. http://www.cccma.ec.gc.ca/papers/ngillett/PDFS/AGU_GM134_CH9_NEW.pdf (acesso em 19/09/2011).
- GILLET, N.P.; HEGERL, Gabriele C.; ALLEN, Myles R.; Stott, Peter A. (2000) - "Implications of changes in the Northern Hemisphere circulation for the detection of anthropogenic climate change". *Geophysical Research Letters*, vol.º27, n.º7, pp.993-996. <http://www.cccma.ec.gc.ca/papers/ngillett/PDFS/1999GL010981.pdf> (acesso em 19/09/2011).
- GOMES, P. Tildes (1994) - *A variabilidade climática em Portugal durante o século XX. Estudo estatístico da temperatura e da quantidade de precipitação*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Planeamento Regional, Universidade de Lisboa, 207p.+atlas.
- GOMES, P. Tildes (1998) - "Variabilidade da precipitação em Portugal e relações com o sistema oceano-atmosfera do Atlântico Norte". *Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia*, vol. XXXIII, n.º66, Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, pp.77-89.
- GOMES, P. Tildes (2001) - "Relationships between Iberian rainfall variability and the North Atlantic Oscillation". In INDIA, M. Brunet & BONILLO, D. López (eds.) *Detecting and Modeling Regional Climate Change*, Berlín, Springer Verlag, pp.377-387.
- HURRELL, J. W. (1995) - "Decadal trends on the North Atlantic Oscillation: regional temperature and precipitation". *Science*, 269, Science Magazine Group, pp.676-679.
- HURRELL, J.W.; VAN LOON, H. (1997) - "Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation". *Climatic Change*, n.º36, pp.301-326. <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/Docs/climchange.decvari.pdf> (acesso em 19/09/2011).
- HURRELL, J. W.; KUSHNIR, Y.; OTTENSEN, G.; VISBECK (2003) "Chapter 1- Overview on the North Atlantic Oscillation", in HURRELL, J. W.; KUSHNIR, Y.; OTTENSEN, G.; VISBECK (eds.) *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact*, Geophysical Monograph Series, 134, Washington, American Geophysical Union, pp.1-34.

- KRISHNAMURTI, T. N. (1961) - "The subtropical jet stream in winter". *Journal of Meteorologie*, vol.18, Washington, American Meteorological Society, pp.172-191.
- KUSHNIR, Y. (1994) - "Interdecadal variations in the North Atlantic sea surface temperatures and associated atmospheric conditions". *Journal of Climate*, vol.7, Washington, American Meteorological Society, pp.141-157.
- KUSHNIR, Y.; CARDONNE, V. J.; GREENWOOD, J. G.; CANE, M. (1997) - "On the recent increase in North Atlantic wave". *Journal of Climate*, vol.10, Washington, American Meteorological Society, pp.2107-2113.
- LOURO, Sílvia e LOURENÇO, Luciano (2005) - "O comportamento hidrológico do rio Mondego perante valores de precipitação intensa, em Coimbra." *Territorium*, Coimbra,12, pp.19-28.
- MARQUES, Jorge e ANTUNES, Sílvia (2009) - "A perigosidade natural da temperatura do ar em Portugal Continental: a avaliação do risco na mortalidade". *Territorium*, Coimbra, 16, pp.49-61.
- MENDES, J. C.; COELHO, M. F. (1993) - *A variabilidade climática em Portugal. Quantidade de precipitação*. Monografia de Meteorologia e Geofísica, n.º43, Lisboa, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 158p.
- MENDES, José Manuel; TAVARES, Alexandre; CUNHA, Lúcio e FREIRA, Susana (2011) - "A vulnerabilidade social aos perigos naturais e tecnológicos em Portugal". *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 93, Junho, pp.95-128.
- OSBORN, T.J.; BRIFFA, K.R.; TETT, S.F.B.; JONES, P.D.; TRIGO, R.M. (1999) - "Evaluation of the North Atlantic Oscillation as simulated by a climate model". *Climate Dynamics*, n.º15, pp. 685-702. <http://www.springerlink.com/content/h1lj48bd98w6tln5/fulltext.pdf> (acesso em 19/09/2011).
- PAIVA (2005) - *Risco de Inundação em Coimbra: factores físicos e acção antrópica. As inundações urbanas e as cheias do Mondego (1950/51-2003/04)*. Tese de Mestrado apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra, 193 p.
- PÉDELABORDE, P. (1982) - *Introduction à l'Étude Scientifique du Climat* (2ª ed.), SEDES, Paris, 353p.
- RAHMSTORF, S. (2002) - "Ocean circulation and climate during the past 120 000 years". *Nature*, vol.149, Nature Publishing Group, pp.207-214.
- RAMOS, Catarina (1986) - "Tipos de anticiclones e ritmo climático em Portugal". Relatório, n.º25, Linha de Acção de Geografia Física, Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, 236p.
- RAMOS, Catarina (1987) - "A influência das situações anticiclónicas no regime de precipitação em Portugal". *Finisterra*, n.º 43, pp.5-38
- REBELO, Fernando (2010) - *Geografia Física e Riscos Naturais*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 215p.
- RODRIGUES-PUEBLA, C.; ENCINAS, A. H.; NIETO, S.; GARNIENDA, J. (1998) - "Spacial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Peninsula Ibérica". *Internacional Journal of Climatology*, vol.18, Londres, Royal Meteorological Society, pp.299-316.
- ROGERS, J. C. (1997) - "North Atlantic storms track variability associated to the North Atlantic Oscillation and climate variability of the Northern Europe". *Journal of Climate*, vol.10, Washington, American Meteorological Society, pp.1635-1647.
- STEPHENSON, David; WANNER, Heinz; BRÖNNIMANN; LUTERBACHER, Jürg (s/d) - "The story of scientific research on the North Atlantic oscillation", 14p.
- STRAILE, Dietmar; LIVINGSTONE, David M.; WEYHENMEYER; GEORGE, D. Glen (2003) - "The Response of Freshwater Ecosystems to Climate Variability Associated with the North Atlantic Oscillation.", pp.263-279. *In The North Atlantic Oscillation. Climatic Significance and Environmental Impact*. <http://homepages.eawag.ch/~living/downloads/2003/Straile%20et%20al%202003.pdf> (acesso em 19/09/2011).
- SURAJE DESSAI; TRIGO, R. (2001) - "A ciência das alterações climáticas". *Finisterra*, Revista Portuguesa de Geografia, vol. XXXVI, n.º71, Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, pp.117-132.
- THOMPSON, David W.J.; WALLACE, John, M. (1998) - "The arctic oscillation in the wintertime geopotential height and temperature." *Geophysical Research Letters*, vol.25, n.º9, pp.1297-1300. http://www.imamu.edu.sa/Scientific_selections/abstracts/Math/The%20arctic%20oscillation%20signature%20in%20the%20wintertime%20geopotential%20height%20and%20temperature%20fields.pdf (acesso em 19/09/2011).
- TRIGO, R.; CÂMARA, C. C. da (2000) - "Circulation weather types and their impact to the precipitation regime in Portugal". *Internacional Journal of Climatology*, vol.12. Londres, Royal Meteorological Society, pp.1559-1581.

- TRIGO, R., OSBORN, T. J.; CORTE-REAL, J. (2002a) - "Influência da oscilação do Atlântico Norte no clima do continente europeu e no caudal dos rios ibéricos atlânticos". *Finisterra*, Revista Portuguesa de Geografia, vol. XXXVII, n.º73, Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, pp.5-31.
- TRIGO, R.M.; OSBORN, T.J.; CORTE-REAL, J. (2002b) - "The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms". *Climate Research*, n.º20, pp.9-17. <http://www.ottokinne.de/articles/cr2002/20/c020p009.pdf> (acesso em 19/09/2011).
- ULBRICHT, U.; CHRISTOPH, M. Pinto J.G.; CORTE-REAL, J. (1999) - "Dependence of winter precipitation over Portugal on NAO and baroclinic activity". *International Journal of Climatology*, n.º19, pp.379-390. http://www.meteo.unikoeln.de/publikationen/Ulbrich_1999_ucpcr_ijc.pdf (acesso em 19/09/2011).
- WALLACE, John M. (1999) - *North Atlantic Oscillation / Annular Mode: Two Paradigms - One Phenomenon*. 29p. <http://jsao.washington.edu/wallace/symons/Symons.pdf> (acesso em 19/09/2011).