

## 2. O CLIMA OBSERVADO

*Maria Antónia Valente*

Instituto D. Luiz

Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

*Pedro M. A. Miranda*

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Instituto D. Luiz - Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

*Fátima Coelho*

Instituto de Meteorologia

*António Tomé*

Universidade da Beira Interior

Instituto D. Luiz - Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

*Eduardo Brito de Azevedo*

Universidade dos Açores

### 2.1 Introdução

Neste capítulo caracteriza-se o clima das ilhas da Madeira e do Porto Santo com recurso a séries de observações meteorológicas realizadas nestas ilhas. Esta caracterização funciona como referência para os cenários climáticos para o séc. XXI que a seguir se constroem para estas ilhas e que são obtidos por regionalização de cenários climáticos obtidos com modelos de circulação global acoplados atmosfera-oceano (vd. capítulo 4). A regionalização dos cenários é construída com o auxílio de um modelo termodinâmico que simula o escoamento simplificado sobre uma ilha com orografia significativa (vd. capítulo 3).

A ilha da Madeira possui um relevo bastante acidentado (Figura 2.1), dominado por montanhas de altitude elevada, separadas por ravinas profundas. Os pontos mais altos da ilha, Pico Ruivo (1862 m) e Pico do Arieiro (1818 m), estão situados na parte Oriental das formações de maior altitude. Na parte Ocidental destas formações localiza-se o Planalto do Paúl que se eleva acima dos 1400 m. A ilha de Porto Santo (Figura 2.2), que se localiza a cerca de 40 km a Nordeste da Madeira, apresenta uma orografia mais suave, tendo o ponto mais alto pouco mais que 500 m de altitude.

As ilhas da Madeira e do Porto Santo situam-se geograficamente na região subtropical, apresentando um clima ameno, tanto no Inverno como no Verão, excepto nas zonas mais elevadas onde se observam temperaturas mais baixas. O efeito moderador do mar nas temperaturas faz-se sentir na reduzida amplitude térmica observada nas ilhas. Alguns sistemas depressionários que atravessam o Atlântico descem até à latitude da Madeira durante os meses de Inverno, observando-se igualmente a formação de depressões na vizinhança do arquipélago, dando por vezes origem a precipitação abundante. No Verão predominam ventos com rumo do quadrante Norte associados ao ramo Leste do anticiclone dos Açores.

Na Madeira podem encontrar-se muitos microclimas que estão relacionados com o relevo complexo da ilha. As encostas apresentam frequentemente uma grande inclinação, o que origina uma alternância entre zonas de sombra e zonas com exposição solar elevada.

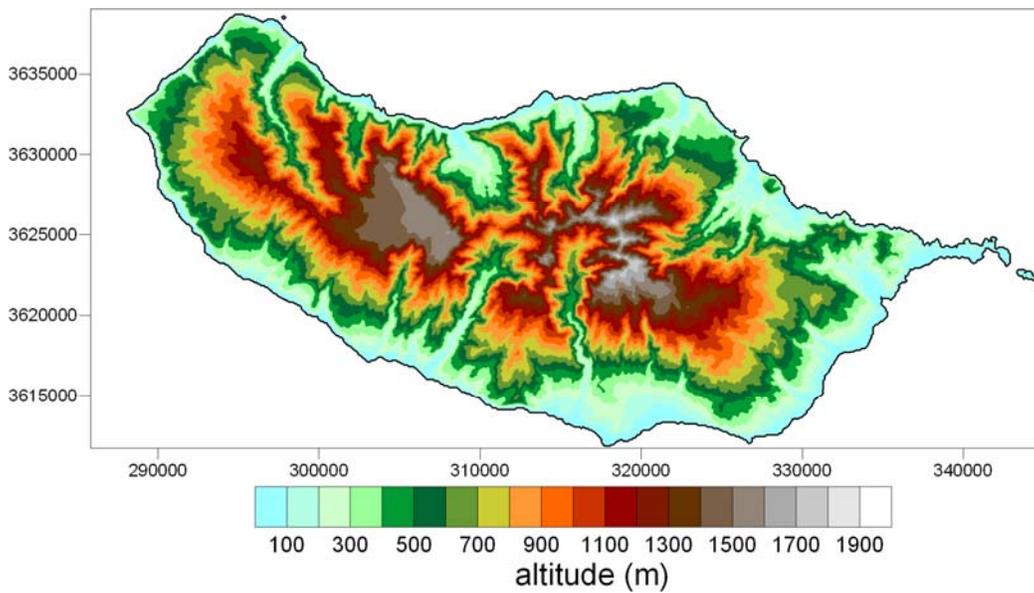


Figura 2.1 - Topografia da Madeira. Coordenadas UTM (m).

A topografia com altitudes muito elevadas favorece a ocorrência de precipitação orográfica, tornando algumas zonas da ilha muito húmidas e permitindo a existência de recursos hídricos significativos. Em contraste, a ilha do Porto Santo, apesar de afectada pelos mesmos sistemas meteorológicos, é substancialmente mais seca.

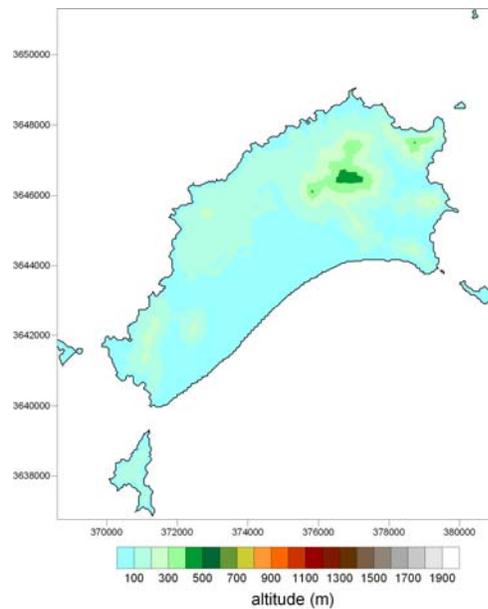


Figura 2.2 - Topografia do Porto Santo. Coordenadas UTM (m).

## 2.2 Características da informação climática do Arquipélago da Madeira

O clima da Madeira e do Porto Santo foi descrito detalhadamente por Machado (1970) usando metodologias clássicas da meteorologia sinóptica. Recentemente, Miranda (2003) realizou, no Instituto de Meteorologia, uma nova cartografia do clima normal da Madeira, recorrendo a um Sistema de Informação Geográfica para realizar a interpolação espacial entre pontos de observação, sendo parte dessa informação incorporada no estudo de mudança climática de Miranda *et al.* (2006). O Plano Regional da Água da Madeira (2003) apresenta ainda uma outra compilação da informação disponível.

É preciso notar que as características topográficas da ilha da Madeira dificultam, de diversas formas, a produção de cartografia climática representativa em escalas finas. Por um lado, o número de estações disponíveis em cada momento é relativamente modesto, quando comparado com os fortes gradientes climáticos observados: no máximo, 25 estações de medida de precipitação e 7 estações climatológicas. Muitas das estações foram encerradas durante as últimas décadas enquanto outras sofreram mudanças de posição. A localização das estações disponíveis na última década é bastante heterogénea (Figura 2.3), sendo as observações escassas em diversas zonas, nomeadamente na zona ocidental, em pontos a meia encosta e nas zonas dos vales interiores.

## 2.3 Climatologia 1961-1990

A climatologia da Madeira apresentada nesta secção é baseada na climatologia de Miranda *et al.* (2006), desenvolvida no âmbito da segunda fase do projecto SIAM (Santos e Miranda, 2006), com base em dados do Instituto de Meteorologia. Apresenta-se no entanto um conjunto mais alargado de variáveis, incluindo nomeadamente vento, insolação, nebulosidade e humidade, para além de temperatura e precipitação.

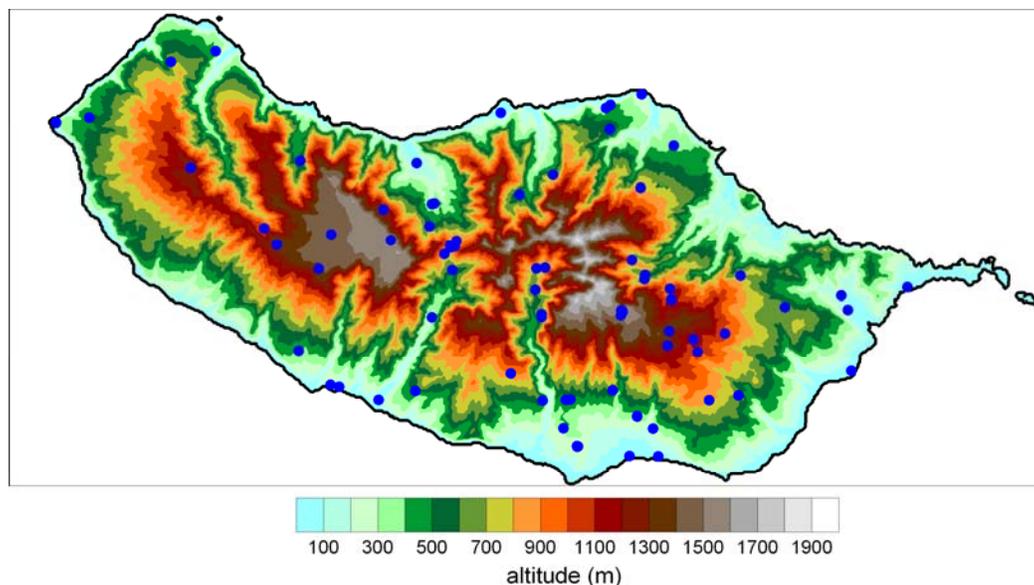


Figura 2.3 - Localização das estações com registos de precipitação (pontos azuis).

A Figura 2.4 apresenta a distribuição das temperaturas média anual, mínima no Inverno e máxima no Verão, observadas na ilha da Madeira na normal climática 1961-90, interpolados num Sistema de Informação Geográfica (SIG). A temperatura média anual na Madeira (Figura 2.4a) variou entre um mínimo de 8°C nos picos mais elevados e 18-19°C nas zonas costeiras. A região do Funchal, situada numa zona na vertente Sul a jusante dos ventos dominantes, é a zona mais quente da ilha. No Inverno (Dezembro, Janeiro, Fevereiro - DJF) a média das temperaturas mínimas (Figura 2.4b) desceu um pouco abaixo dos 4°C nas regiões elevadas. Junto da costa, a temperatura mínima no Inverno foi ligeiramente superior a 13°C. No Verão (Junho, Julho, Agosto - JJA) observaram-se em média 16°C de temperatura máxima (Figura 2.4c) nos picos mais elevados. Nesta estação do ano a média das temperaturas máximas ultrapassou ligeiramente os 23°C nas zonas costeiras.

Deve notar-se que a cartografia climática produzida em SIG a partir de um número reduzido de pontos de observação apresenta uma forte assinatura topográfica em qualquer variável interpolada, mesmo que essa assinatura não tenha fundamento físico. No caso da temperatura, espera-se uma dependência da altitude quase linear, pelo que os mapas produzidos não levantarão grandes objecções. Tal não é caso das outras variáveis.

Os dados actualmente utilizados na produção da cartografia climática no IM, tal como os disponibilizados no Plano Regional da Água da Madeira, para além de serem talvez excessivamente afectados pelo método de interpolação são ainda perturbados por erros de localização de algumas estações da ordem de 1', traduzidos em erros no terreno de 1,8 km na horizontal, valor extremamente elevado numa região como a Madeira. No presente trabalho dispõe-se de informação actualizada obtida por GPS, o que permite eliminar essa fonte de erro.

O ciclo anual da temperatura na normal 1961-90, nas estações do Funchal e Porto Santo (Aeroporto), é apresentado com maior detalhe na Figura 2.5, onde estão representadas as temperaturas máximas (laranja) e mínimas (azul claro) médias mensais, para além das temperaturas máxima absoluta (vermelho) e mínima absoluta (azul escuro). Em ambas as estações, Agosto e Setembro são os meses mais quentes, verificando-se que a amplitude térmica é maior no Funchal que no Porto Santo. O Funchal regista temperaturas máximas mais elevadas que o Porto Santo e temperaturas mínimas mais baixas.

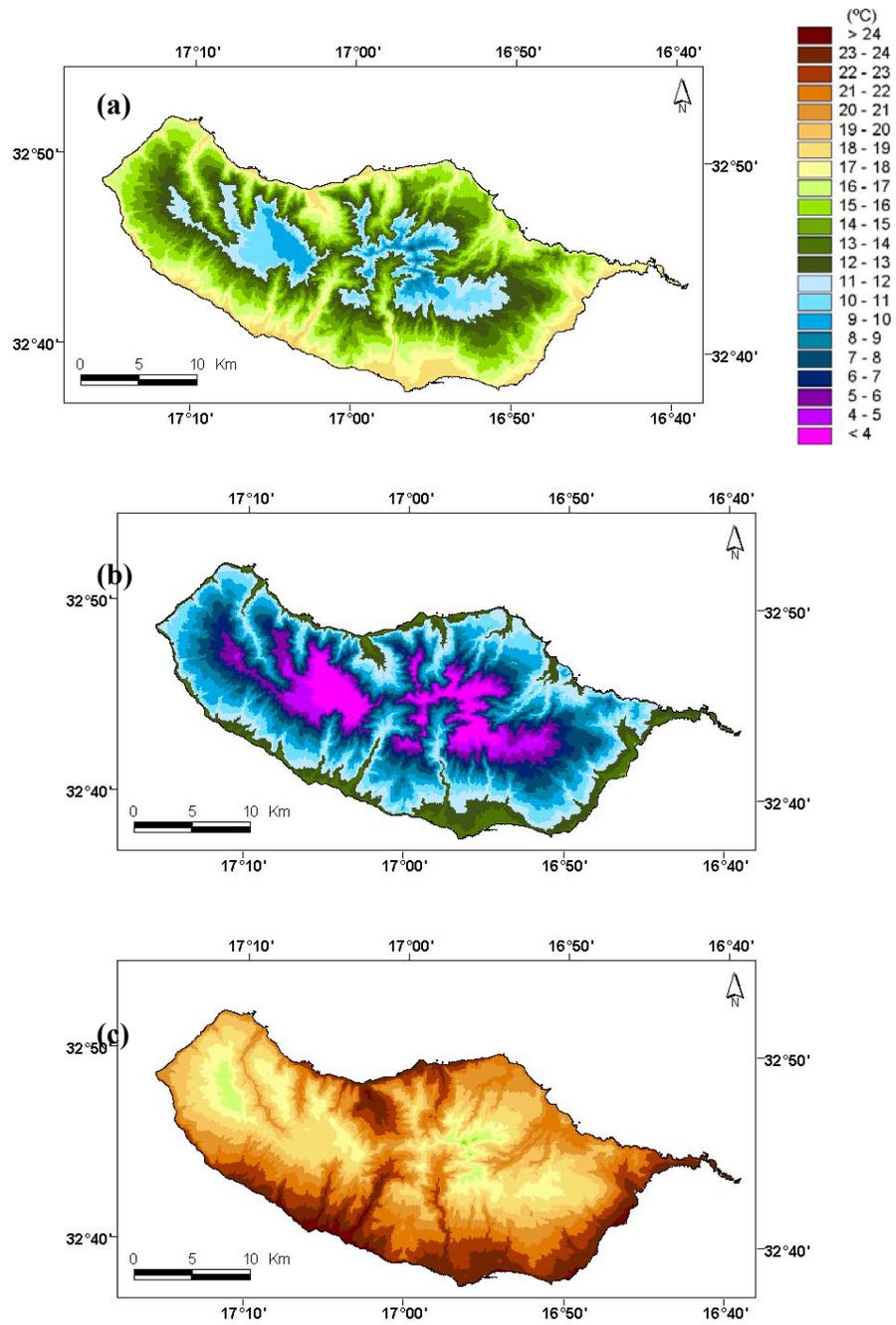


Figura 2.4 - Temperatura (a) média, (b) mínima em DJF e (c) máxima em JJA, 1961-90 (Dados IM)

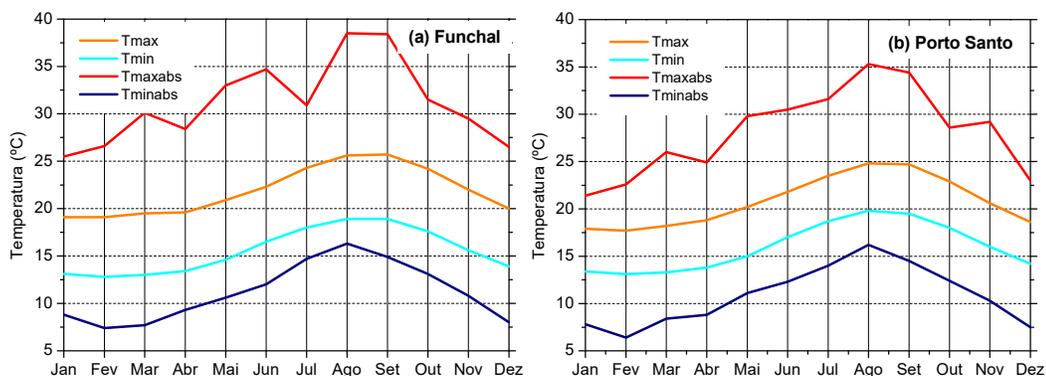


Figura 2.5 - Normal climática mensal 1961-1990 das temperaturas: (a) Funchal; (b) Porto Santo

Note-se que o Funchal se situa na encosta a jusante da orografia da ilha, considerando que o escoamento à escala sinóptica é predominantemente de Norte, pelo que o seu clima é influenciado pelo efeito de Fohen. Este efeito não se verifica na estação de Porto Santo (Aeroporto). Os meses mais frios são Janeiro e Fevereiro em ambas as estações. A temperatura mais elevada registada no Funchal no período 1961-1990 foi de 38.5°C, enquanto no Porto Santo foi de 35.3°C, ambas em Agosto. Em relação à temperatura mínima absoluta, o Funchal registou 6.4°C e o Porto Santo 7.4°C, ambas em Fevereiro. A temperatura média no Porto Santo é da ordem de 18.4°C, ligeiramente mais baixa do que os 18.7°C registados no Funchal.

A média da precipitação acumulada anualmente na Madeira (Figura 2.6a) atingiu um máximo próximo dos 3400 mm nos picos mais elevados e foi mínima na zona do Funchal (menos de 600 mm). Observa-se na distribuição da precipitação anual uma assimetria Norte-Sul, com bastante mais precipitação, à mesma altitude na costa Norte.

A carta de precipitação média anual apresentada na Figura 2.6a é qualitativamente diferente da carta do Plano Regional da Água (2003, na sua Figura A8) devido ao método de interpolação neste utilizado, em que certamente não se inclui o efeito orográfico. Poderá argumentar-se, como se fez anteriormente, que a pura interpolação condicionada pela orografia, como foi feito para produzir as cartas da Figura 2.6, pode exagerar o efeito orográfico especialmente nas pequenas escalas, aspecto que será melhor discutido na apresentação do modelo que será usado neste trabalho para calcular os campos climáticos espacializados (ver capítulo 3). No entanto, sendo o efeito orográfico extremamente relevante na Ilha da Madeira, como é fácil de verificar nas observações, a sua não inclusão na cartografia climática do Plano Regional da Água da Madeira não é defensável e retira credibilidade aos dados aí apresentados.

A assimetria Norte-Sul da distribuição da precipitação acumulada não é tão acentuada no Inverno (Figura 2.6b) como no mapa anual, embora continue a ser uma das características significativas da distribuição espacial. Nas zonas mais altas, a precipitação acumulada de Inverno ultrapassou ligeiramente em média os 1200mm, enquanto nas regiões do Funchal e do vale do Machico foi cerca de 300mm. Nos meses de Verão (Figura 2.6c) foram observados cerca de 150mm de precipitação nas zonas elevadas (mas não no Arieiro) e valores ligeiramente inferiores a 50mm na costa Sul da ilha, sendo mais evidente a assimetria Norte-Sul na distribuição da precipitação nesta estação do ano. O facto de chover mais na parte Norte da Madeira durante o Verão está claramente associado ao rumo dominante do vento (Norte) nesta estação e ao facto de a

precipitação ser essencialmente orográfica.

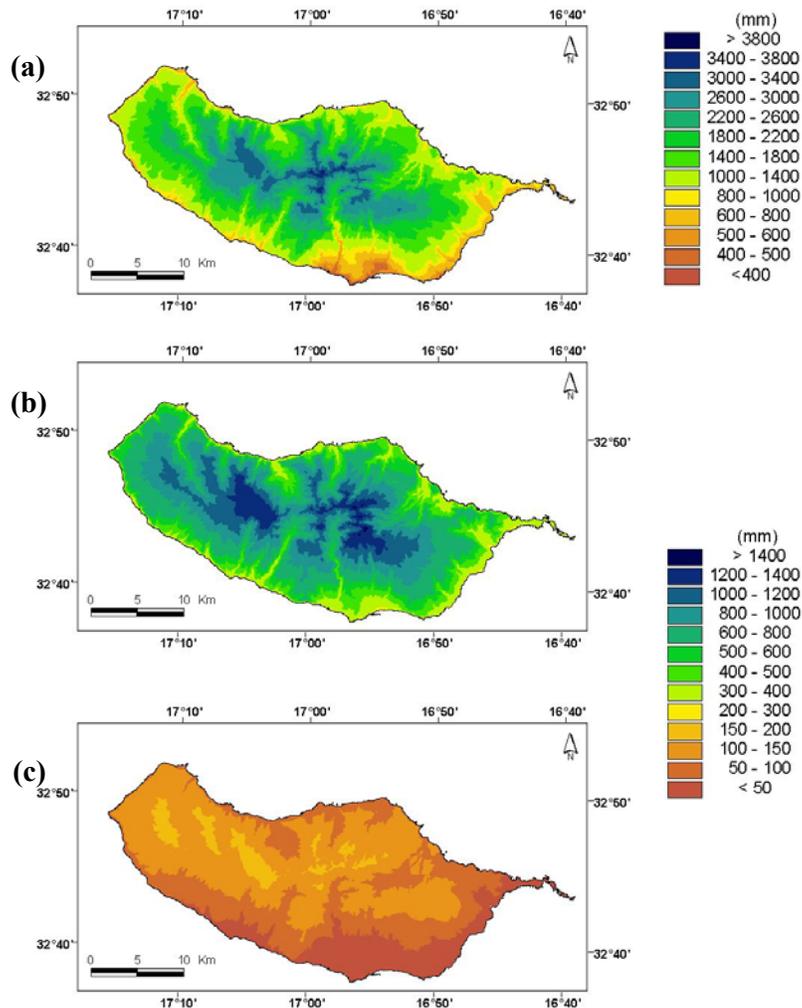


Figura 2.6 - Precipitação (a) anual, (b) de Inverno (DJF) e (c) de Verão (JJA), 1961-90 (Dados IM).

Os números anuais de dias de Verão e de noites tropicais estão representados na Figura 2.7. São definidos como dias de Verão todos os dias que tenham temperaturas máximas superiores a 25°C, e como noites tropicais todos os dias com temperatura mínima inferior a 20°C. Apenas na encosta a Norte dos picos do Arieiro e Ruivo não se observaram dias de Verão (Figura 2.7a). Na costa Sul, por outro lado, registaram-se em média um pouco mais de 70 dias de Verão por ano no período climatológico considerado. As noites tropicais (Figura 2.7b) ocorreram igualmente em quase toda a ilha da Madeira, embora a área sem noites tropicais seja superior à que não teve dias de Verão e engloba mais zonas com altitudes elevadas na parte Leste da ilha. Algumas regiões costeiras a Leste registaram em média mais de 20 noites tropicais por ano, tendo a região de Santa Catarina ultrapassado o valor de 30 noites tropicais.

A assimetria Norte-Sul do número anual de dias com precipitação (precipitação superior a 0.1mm/dia) é bem visível na Figura 2.8a. Com efeito, na região do Funchal e noutros pontos da

costa Sul ocorreram cerca de 80 dias com precipitação por ano, enquanto na costa Norte se observaram mais de 120 dias/ano. Por outro lado, nas zonas mais elevadas da ilha registaram-se mais de 180 dias/ano com precipitação, dos quais pelo menos 60 são dias com precipitação elevada (superior a 10mm/dia - Figura 2.8b). O número mínimo de dias com precipitação elevada (20) ocorreu na costa Sul.

O ciclo anual da precipitação para as estações do Funchal e Porto Santo é apresentado na Figura 2.9. Nesta figura estão representados igualmente o número médio de dias por ano com precipitação superior a 1mm (dias com precipitação significativa) e superior a 10mm (dias com precipitação elevada). A precipitação anual média na estação do Funchal totalizou 643mm e em Porto Santo 384mm. O Funchal é mais chuvoso do que o Porto Santo em todos os meses do ano excepto em Julho e Agosto, os meses mais secos do ano. No Funchal, Janeiro (103mm) é o mês mais chuvoso do ano, seguido de Novembro (101mm) e Dezembro (100mm). No Porto Santo os meses mais chuvosos são Dezembro (59.4mm), Janeiro (58.9mm) e Novembro (54.4mm). No Funchal observaram-se ligeiramente menos dias por ano com precipitação acima de 1mm (61.3) do que em Porto Santo (64.9), mas o Funchal tem cerca de duas vezes mais dias com precipitação intensa (20.3) do que o Porto Santo (9.3).

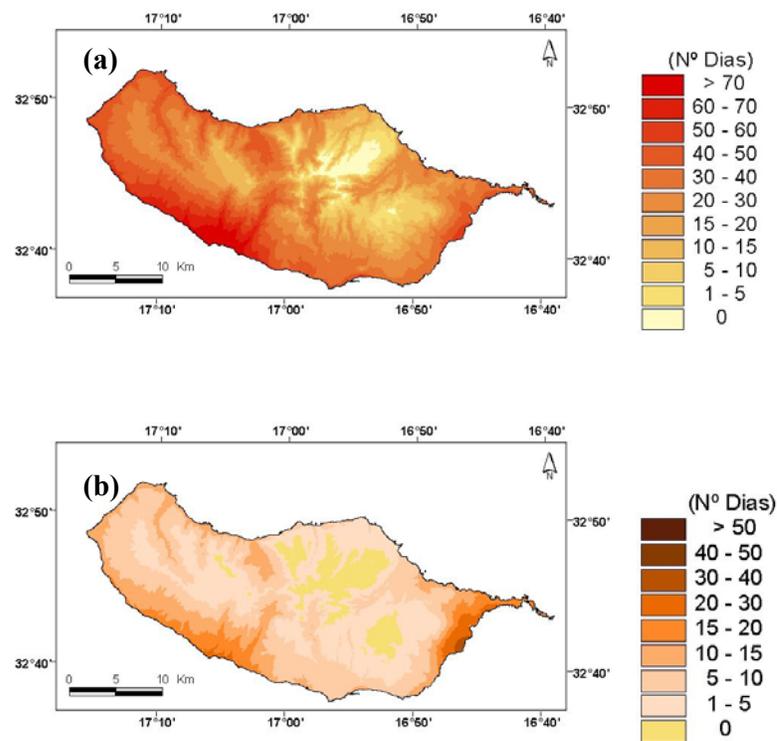


Figura 2.7 - Número anual de (a) dias de Verão (Tmax>25°C) e (b) noites tropicais (Tmin>20°C), 1961-90 (Dados IM).

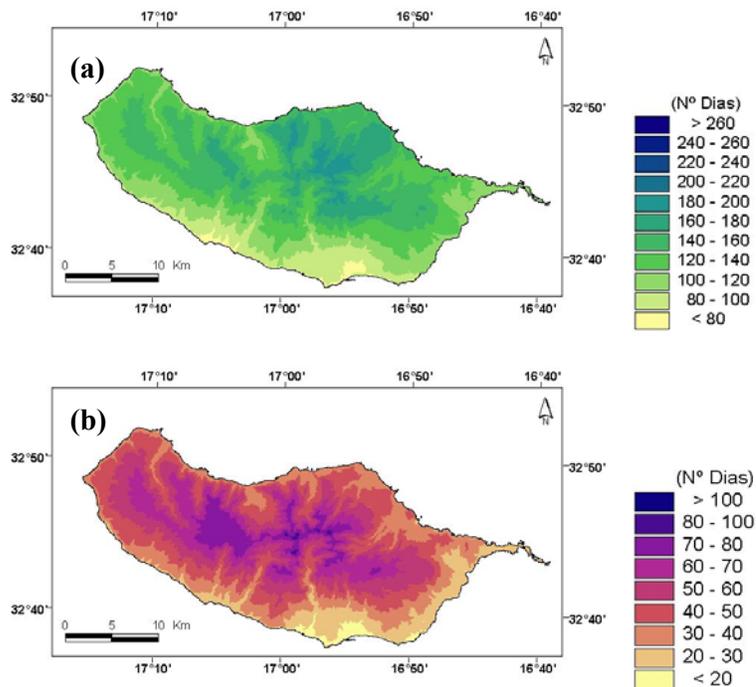


Figura 2.8 - Número anual de (a) dias com precipitação (prec>0.1mm) e (b) dias chuvosos (prec>10mm), 1961-90 (Dados IM).

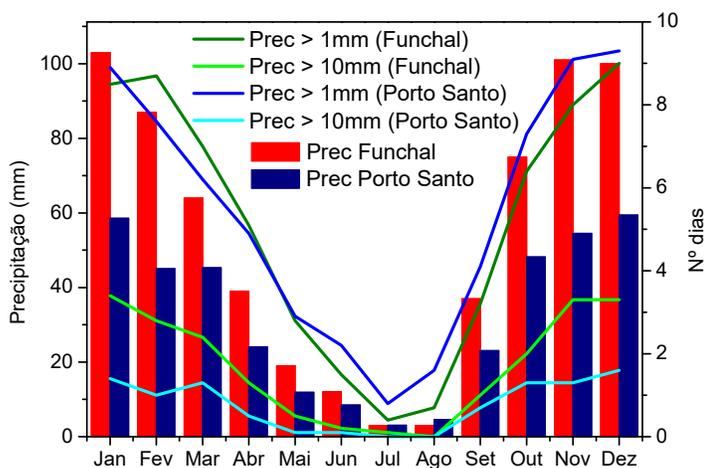


Figura 2.9 - Normal climática mensal (1961-1990) da precipitação (barras - escala da esquerda) e do número de dias com precipitação > 1mm e precipitação > 10 mm (escala da direita) para o Funchal e Porto Santo.

A velocidade média do vento distribuída por octantes (rumo) e a respectiva frequência estão representadas na Figura 2.10. Os ventos de Nordeste e de Sudoeste são os mais frequentes no Funchal, embora os ventos de maior intensidade sejam os de Este e Oeste. Embora haja rumos mais frequentes para os ventos no Funchal, observa-se uma dispersão razoável pelos 8 octantes, ao contrário do que acontece no Porto Santo. Aqui os ventos do quadrante Norte são fortemente dominantes (64%), com a direcção Norte a contribuir com 37% das ocorrências. O vento no Porto Santo é aproximadamente representativo do vento sobre o mar, ou seja, do vento à escala

sinóptica que incide sobre a orografia da Madeira, esta a Sudoeste do Porto Santo. Por outro lado, quando o vento no Porto Santo é do quadrante Norte, o Funchal encontra-se muitas vezes na esteira da ilha. Consequentemente, o escoamento atmosférico no Funchal é afectado por movimentos de recirculação horizontal do ar, o que explica a diversidade de direcções do vento nesta estação meteorológica. A velocidade média do vento no Porto Santo é bastante maior do que no Funchal, devido ao escoamento ser menos afectado por efeitos topográficos e de superfície. Os ventos do quadrante Oeste, bem como ventos das direcções Norte e Sul são os ventos mais intensos sobre o Porto Santo, com intensidades médias próximas dos 20km/h. Os ventos do quadrante Sul são no entanto bastante pouco frequentes no Porto Santo. Note-se ainda que no Funchal 11% das situações observadas foram de calma (ventos fracos) e no Porto Santo 5.3%.

O ciclo anual da insolação está representado na Figura 2.11. A insolação mensal média tem uma distribuição bimodal ao longo do ano, tanto no Funchal como no Porto Santo, com máximos em Maio e Agosto. De Abril a Outubro o Funchal regista menos horas de sol do que o Porto Santo, situação que é invertida nos restantes meses do ano (Novembro a Março). Os meses com maiores valores de insolação no Funchal são Agosto (240 h) e Julho (228 h). Dezembro é o mês com menos horas de sol no Funchal (140 h). No Porto Santo, Agosto (245 h) e Maio (233 h) são os meses com maior insolação, voltando a ser o mês de Dezembro o que tem menores valores (132 h). As razões pelas quais Junho tem valores mais baixos deste campo do que os meses adjacentes carece ainda de investigação. Anualmente o Porto Santo totaliza mais horas de sol (2241 h) do que o Funchal (2165 h), provavelmente devido a ter uma orografia de menor altitude que não influencia tão fortemente a ocorrência de nebulosidade.

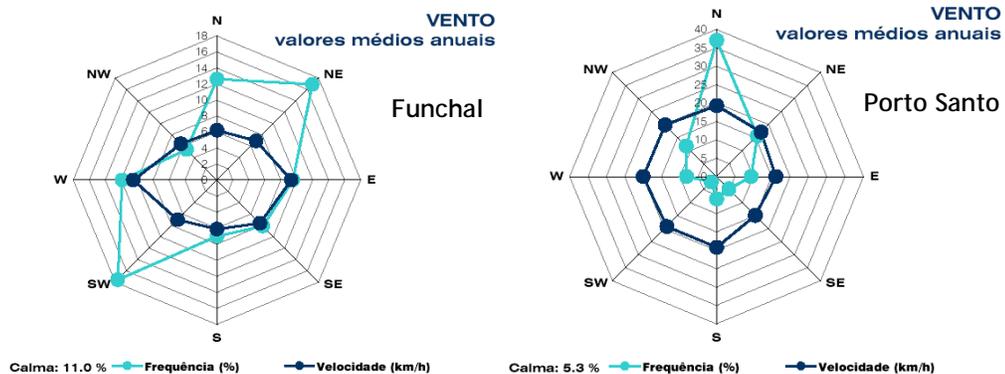


Figura 2.10 - Normal climática (1961-1990) da velocidade (km/h) e direcção do vento (freqüência em).

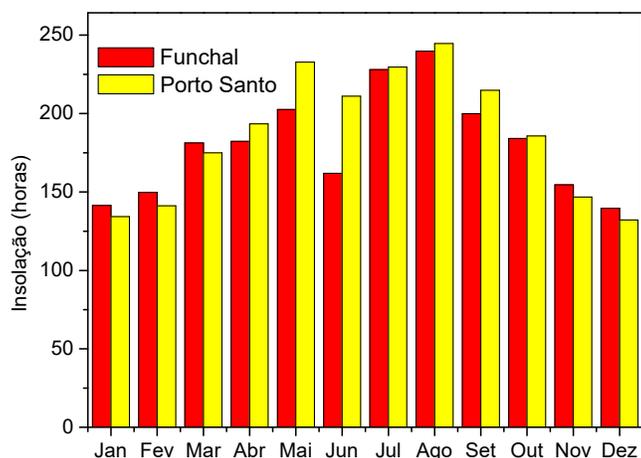


Figura 2.11 - Normal climática mensal (1961-1990) da insolação: (Funchal e Porto Santo).

## 2.4 Tendências climáticas

### 2.4.1 Temperatura

A temperatura média global à superfície aumentou aproximadamente 0,6°C desde o fim do séc. XIX até ao fim do séc. XX (IPCC WGI, 2001), tendo sido identificados neste intervalo de tempo, por Jones *et al.* (1999) e Karl *et al.* (2000), dois períodos de aquecimento, entre 1910-1945 e desde 1976. Cerca de dois terços do aumento verificado no séc. XX (0.4°C) ocorreram desde a década de 1970. Na Europa, os maiores aumentos da temperatura coincidem com os períodos de aumento a nível global (Klein Tank *et al.*, 2002). As temperaturas mínimas, em particular, sofreram um aumento significativo, que se atribui a uma redução da frequência de ocorrência de temperaturas extremamente baixas. No Hemisfério Norte a tendência da temperatura média foi de 0.25°C/década desde 1976 (Tomé & Miranda, 2005).

Em Portugal Continental observou-se que, no que se refere à temperatura média do continente, os 6 anos mais quentes do período 1931-2000 ocorreram nos últimos 12 anos do séc. XX, sendo 1997 o ano mais quente (Miranda *et al.* 2002). O projecto SIAM2 (Miranda *et al.*, 2006) estudou a evolução das temperaturas mínima e máxima de Portugal Continental entre 1931 e 2002, incluindo uma análise da sua tendência parcial nos períodos de aquecimento (1910-1945, 1975-2002) e arrefecimento (1945-1975) da temperatura média global, verificando que a temperatura média do território continental português acompanhou o comportamento global, registando dois períodos de aquecimento significativo, intercalados por um período de arrefecimento moderado. Nos últimos 27 anos a temperatura máxima apresentou uma tendência positiva (+0.47°C/década) ligeiramente inferior à da temperatura mínima (+0.48°C/década). Embora nos anos de 2001 e 2002 não se tenham observado temperaturas tão elevadas em Portugal Continental como nos anos mais quentes da década de 1990, estes dois anos estão nos 10% de anos mais quentes em relação à média climatológica de 1961-1990 (Walpe & Lawrimore, 2003).

Para ultrapassar os casos em que os valores globais (1945 e 1975) obtidos por Karl *et al.* (2000) não são adequados, utilizou-se um método que permite identificar, para cada série, os anos que

evidenciam uma mudança de tendência (Tomé & Miranda, 2004). Este método consiste em encontrar a curva composta por troços de recta contínuos que melhor se ajusta às séries, em termos da minimização da soma dos desvios quadráticos, com a condição do período abarcado por cada segmento de recta ser igual ou superior a um dado limite - que no caso da Madeira e Porto Santo foi de 20 anos.

As séries das temperaturas máximas e mínimas observadas no Funchal e Porto Santo são apresentadas na Figura 2.12, juntamente com os melhores ajustes lineares. Estes foram obtidos com os anos de mudança da tendência global (1945 e 1975) e coincidem com os resultados obtidos pelo método de Tomé e Miranda. As séries apresentadas iniciam-se em 1921 no caso do Funchal e em 1940 no caso de Porto Santo.

Para a temperatura máxima no Funchal são observadas tendências positivas em todos os períodos, em especial no último período que apresenta um aquecimento de  $+0.51^{\circ}\text{C}/\text{década}$ . A temperatura mínima no Funchal apresenta um comportamento mais irregular. A partir de 1975 a tendência é muito significativa ( $+0.72^{\circ}\text{C}/\text{década}$ ), implicando uma diminuição da amplitude térmica diária.

Contrariamente ao Funchal, verifica-se no Porto Santo que os comportamentos das temperaturas mínima e máxima foram quase paralelos. No entanto, no período desde 1975 a temperatura máxima aumentou a uma taxa de  $+0.54^{\circ}\text{C}/\text{década}$ , enquanto a temperatura mínima cresceu a uma taxa mais baixa de  $+0.35^{\circ}\text{C}/\text{década}$ , o que implicou um aumento da amplitude térmica durante o último período.

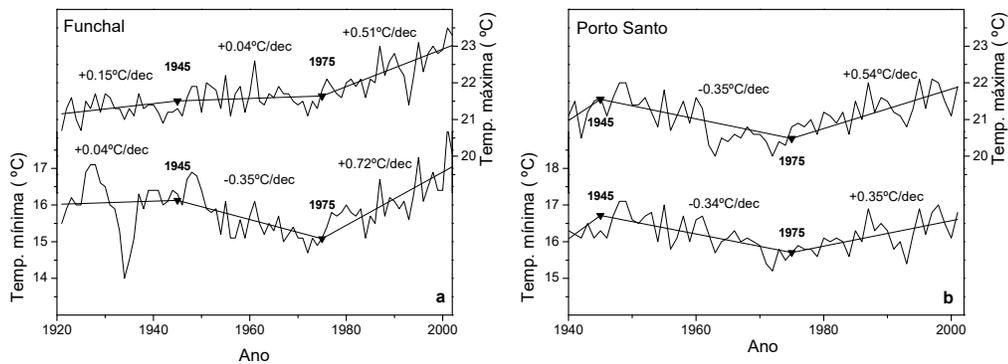


Figura 2.12 - Evolução temporal das médias das temperaturas máximas (curvas de cima) e mínimas (curvas de baixo) anuais no Funchal (a) e Porto Santo (b). Sobrepostos estão os ajustes lineares às curvas calculados com os anos de mudança das tendências da temperatura média global (1945 e 1975). Tendências em  $^{\circ}\text{C}$  por década.

Em termos de comparação com os Açores (Miranda *et al.*, 2006), Ponta Delgada (S. Miguel) registou a partir de 1976 uma tendência de  $+0.37^{\circ}\text{C}/\text{década}$  na temperatura máxima e cerca de  $+0.6^{\circ}\text{C}/\text{década}$  na temperatura mínima, enquanto para Angra do Heroísmo (Terceira) se obtiveram no mesmo período  $+0.46^{\circ}\text{C}/\text{década}$  (temperatura máxima) e  $+0.36^{\circ}\text{C}$  (temperatura mínima). Deve no entanto realçar-se que os pontos de mudança de tendência em Angra calculados pelo método de Tomé e Miranda são 1963 para a temperatura máxima e 1969 para a temperatura mínima, o que significa que o aquecimento recente em Angra começou mais cedo que na média global.

Pode portanto concluir-se que as temperaturas na Madeira e no Porto Santo têm vindo a aumentar desde 1976 em fase com o comportamento das temperaturas no continente português e a nível global. As tendências positivas da temperatura no Funchal desde 1976 têm valores mais elevados do que na média das temperaturas em Portugal continental e nos Açores, encontrando-se entre as mais elevadas das estações analisadas em todo o território de Portugal (Miranda *et al.*, 2002).

Conclui-se ainda que no último período de aumento de temperatura a Madeira aqueceu substancialmente mais do que o Hemisfério Norte (onde se verificou uma tendência de +0.25°C/década para a temperatura média). Saliente-se ainda que a temperatura máxima no Funchal não decresceu entre 1945 e 1975, embora a temperatura média tenha baixado cerca de 0.31°C/década neste período.

#### 2.4.2 Precipitação

Na Figura 2.13 apresentam-se as séries sazonais da precipitação acumulada no Funchal de 1901 a 2000 e no Porto Santo de 1940 a 2000. Estas séries não parecem apresentar uma tendência significativa de longo prazo, distribuindo-se em torno do valor médio em 1961-1990. Contudo, uma análise visual das séries, corroborada com a técnica de análise por troços já descrita, permite concluir que existe estrutura na variação interdecadal da precipitação, com períodos de menor intensidade de precipitação média e/ou de menor variabilidade interanual, especialmente no que se refere à precipitação de Inverno.

A oscilação do Atlântico Norte, designada por NAO (*North Atlantic Oscillation*), constitui um dos modos principais de variabilidade lenta da atmosfera que afecta o clima de Portugal. Este índice representa a diferença da pressão ao nível do mar entre os Açores, Lisboa ou Gibraltar e a Islândia (Osborn *et al.*, 1999). As observações de precipitação em Portugal continental indicam que a valores baixos do índice NAO estão associadas quantidades de precipitação acima da média, enquanto valores elevados deste índice correspondem a quantidades de precipitação abaixo da média (Trigo *et al.*, 2002). Na Figura 2.14 apresenta-se a evolução do índice NAO (Lisboa) e da precipitação acumulada no Inverno alargado (DJFM - Dezembro a Março) desde 1941 até 2000. Tal como se observou nos Açores e no continente (Miranda *et al.*, 2006), parece existir uma correlação negativa significativa entre a precipitação observada na Madeira e no Porto Santo e o índice NAO. No Funchal a correlação entre NAO e precipitação é de  $R=-0.65$  e no Porto Santo  $R=-0.58$ .

Na Figura 2.15 estão representadas as diferenças entre as precipitações médias mensais no período 1971-2000 e no período 1941-1970, para o Funchal e para o Porto Santo. Da análise destas figuras conclui-se que o sinal da anomalia nos meses em que há precipitação significativa é o mesmo no Funchal e no Porto Santo, excepto nos meses de Janeiro e Outubro. Em Janeiro a precipitação no Porto Santo foi menor no período 1971-2000, enquanto no Funchal choveu ligeiramente mais neste período do que em 1941-1970.

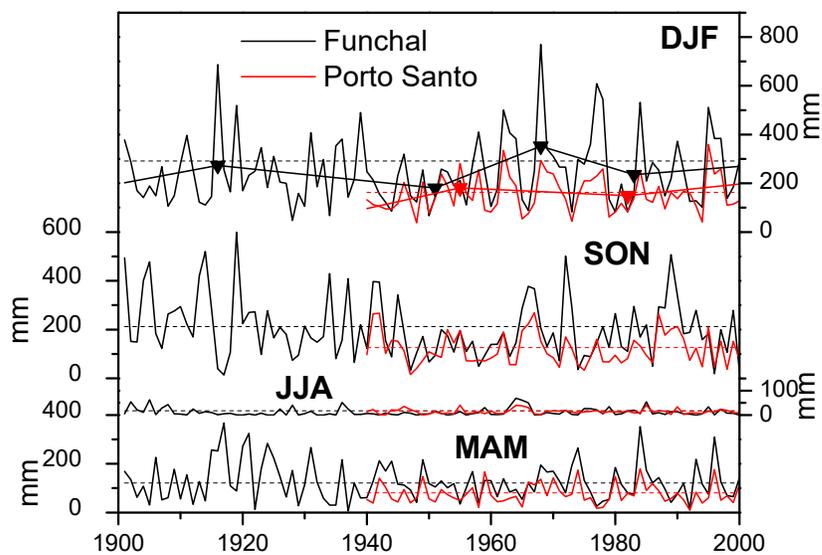


Figura 2.13 - Precipitação sazonal no Funchal e em Porto Santo. Ajustes lineares apresentados para DJF. As rectas a tracejado indicam a precipitação média no período 1961-1990.

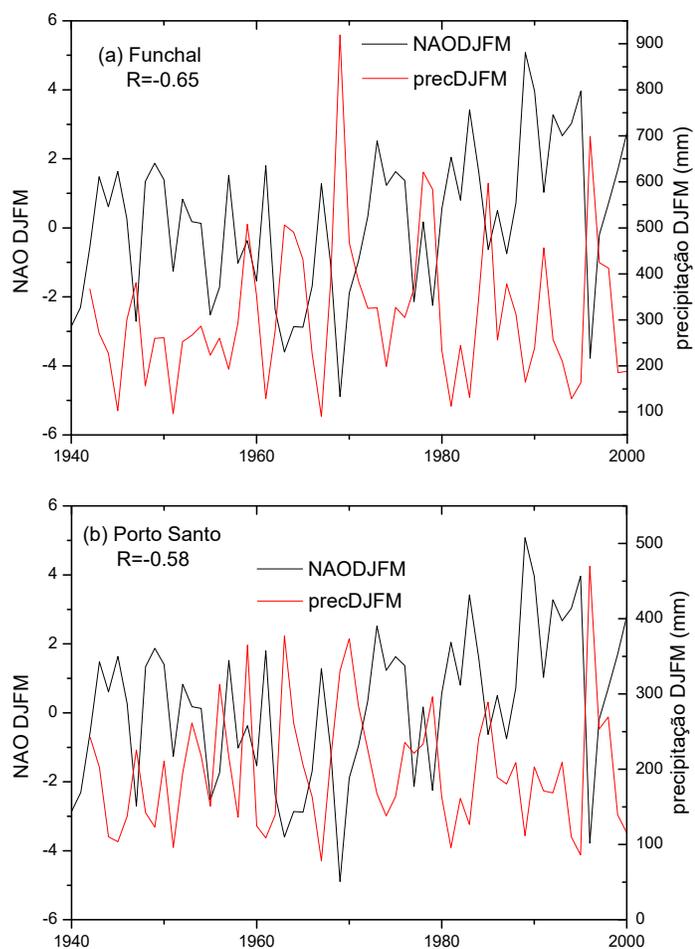


Figura 2.14 - Índice NAO e precipitação acumulada para os meses DJFM: (a) Funchal; (b) Porto Santo. R - Coeficiente de correlação entre as curvas.

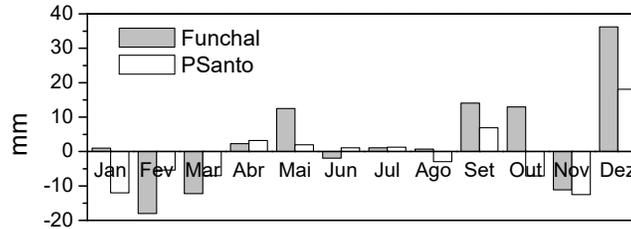


Figura 2.15 - Anomalia da precipitação mensal no Funchal e em Porto Santo (entre 1971/2000 e 1941/70).

Contudo, esta menor precipitação em Janeiro no Porto Santo em relação ao Funchal é, em parte, compensada por uma diminuição menor em Fevereiro. Saliente-se ainda que a maior anomalia positiva da precipitação se observa no mês de Dezembro, tanto no Funchal como no Porto Santo.

A Figura 2.16 e a Figura 2.17 apresentam os valores médios da precipitação anual e sazonal, e os respectivos desvios padrão, para o Funchal e para o Porto Santo. A variação da precipitação acumulada entre os anos 1941-1970 e 1971-2000, quer anual quer sazonal, para o Funchal e para o Porto Santo, não parece ser muito importante. Apesar disso, é curioso observar que no Funchal a precipitação anual e sazonal aumentou no último período, enquanto a precipitação no Porto Santo diminuiu ligeiramente. Na Primavera o desvio padrão no Funchal em 1971-2000 é muito superior ao desvio padrão nos anos 1941-1970. Tal deve-se essencialmente ao facto de nos últimos anos se terem observado no Funchal, Primaveras mais chuvosas, com precipitação acumulada superior a 250mm, 300mm e 350mm, o que não aconteceu no período 1941-1970 (Figura 2.18). No Funchal, no Outono, ocorreram igualmente precipitações acumuladas elevadas (superiores a 400mm) no período 1971-2000, ao contrário do período 1941-1970 que teve Outonos menos chuvosos. No entanto, o aumento do desvio padrão no Funchal nesta estação não é tão acentuado como na Primavera porque, simultaneamente, não se observam, em 1971-2000 Outonos com precipitação acumulada entre 350 e 400mm. Uma característica a salientar ainda na distribuição por classes da precipitação sazonal do Funchal é o aumento significativo do número de Verões sem chuva no último período, em relação ao anterior.

Na distribuição da precipitação por classes no Porto Santo (Figura 2.19), o único facto relevante é a existência de Outonos com precipitações acumuladas superiores a 350mm no período 1971-2000 e um número significativamente mais elevado de Verões com precipitação compreendida entre 10 e 20 mm durante os anos 1941-1970.

### 2.4.3 Indicadores climáticos de temperatura

Na Figura 2.20 apresenta-se a evolução do número de noites tropicais e de dias de Verão para o Funchal (painel da esquerda) e para o Porto Santo (painel da direita). São também apresentados na mesma figura os segmentos de recta contínuos, ajustados considerando 1975 como ano de mudança da tendência.

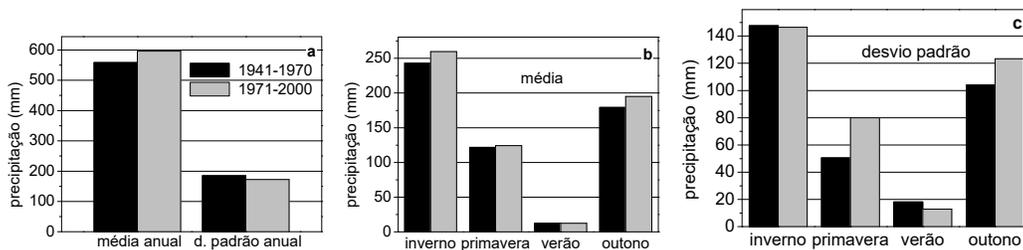


Figura 2.16 - (a) Média e desvio padrão da precipitação anual; (b) Média sazonal da precipitação; (c) Desvio padrão sazonal da precipitação no Funchal nos períodos 1971-2000 e 1941-1970.

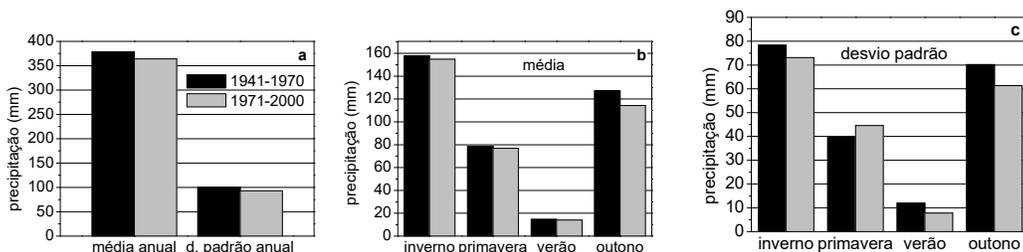


Figura 2.17 - Tal como a Figura 2.16 mas para o Porto Santo.

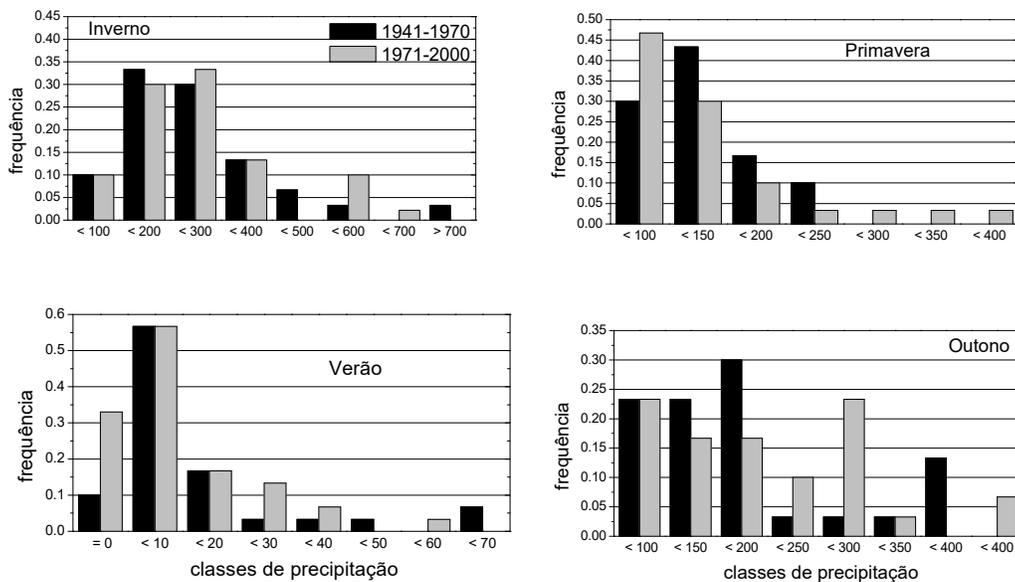


Figura 2.18 - Funchal. Histogramas de precipitação sazonal. Classes de precipitação em mm.

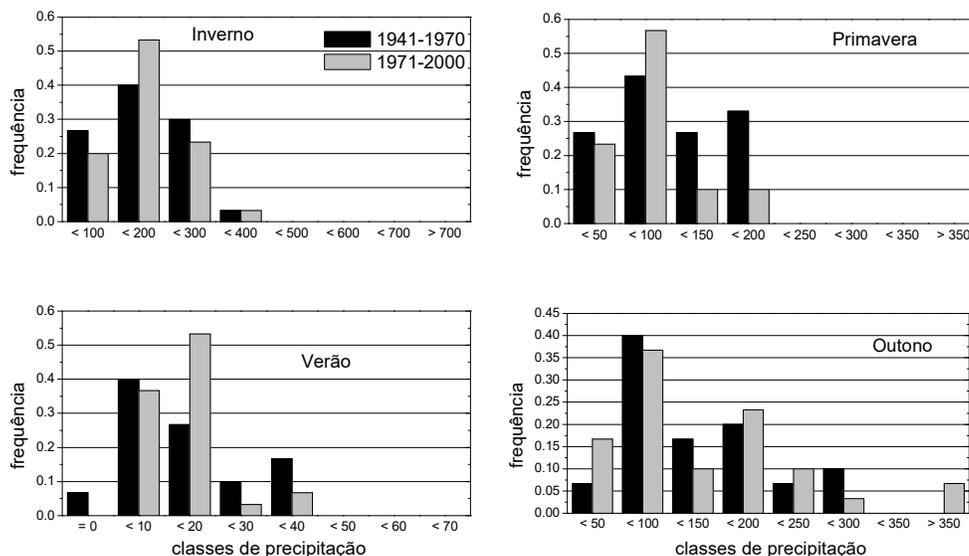


Figura 2.19 - Porto Santo. Histogramas de precipitação sazonal. Classes de precipitação em mm.

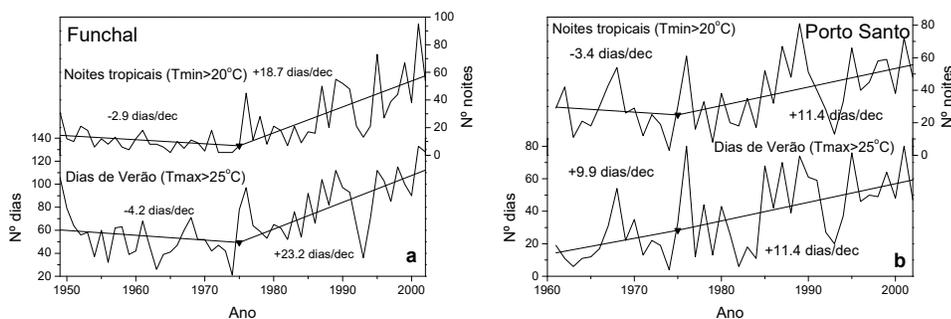


Figura 2.20 - Evolução do número anual de noites tropicais e do número de dias de Verão: (a) Funchal, (b) Porto Santo.

As noites tropicais do Funchal decrescem muito ligeiramente (-2,9 dias/década) até 1975, altura em que começam a aumentar a uma taxa elevada de +18,7 dias/década. Por outro lado, os dias de Verão no Funchal decrescem a uma taxa de -4,2 dias/década até 1975, a que se segue um aumento a uma taxa, notável, de +23,2 dias/década. No Porto Santo as noites tropicais decrescem a uma taxa de -3,4 dias/década até 1975, passando a aumentar a uma taxa de +11,4 dias/década a partir de 1975, enquanto os dias de Verão crescem em todo o período considerado a uma taxa praticamente uniforme, que é de +11,4 dias/década a partir de 1975. O aumento destes dois indicadores observados nas últimas três décadas é muito mais acentuado no Funchal do que no Porto Santo.

#### 2.4.4 Insolação, nebulosidade e humidade relativa

Séries da insolação anual, da nebulosidade e da humidade relativa média anual às 9 horas são

apresentadas na Figura 2.21 para o Funchal, Porto Santo e Arieiro (estação localizada aproximadamente a 1600 m). Apresentam-se nesta figura apenas valores entre 1950-1994. A insolação anual nas três estações consideradas sofre um decréscimo acentuado durante os anos da década de 1960, igualmente observado em diversas estações de Portugal continental (Miranda *et al.*, 2002).

Apesar da existência de bastantes falhas nas séries utilizadas, verifica-se uma boa correlação entre as três séries de insolação, mas não no caso das de nebulosidade e humidade relativa. No Funchal e no Porto Santo observa-se uma diminuição lenta e progressiva da nebulosidade durante todo o período, enquanto no Arieiro, a tendência da nebulosidade é praticamente nula. Este comportamento contrasta com o das séries de insolação e nebulosidade em Lisboa, no mesmo período (Miranda *et al.*, 2006). Em Lisboa o decréscimo de insolação é acompanhado por um aumento da nebulosidade, existindo entre ambas as séries uma correlação negativa significativa. Deve notar-se que no Porto Santo a nebulosidade tem valores significativamente mais elevados do que nas outras duas estações da Madeira.

No que se refere à humidade relativa, o sinal é muito irregular, especialmente na estação do Arieiro. No Funchal observa-se um ligeiro acréscimo de humidade relativa a partir da década de 1970.

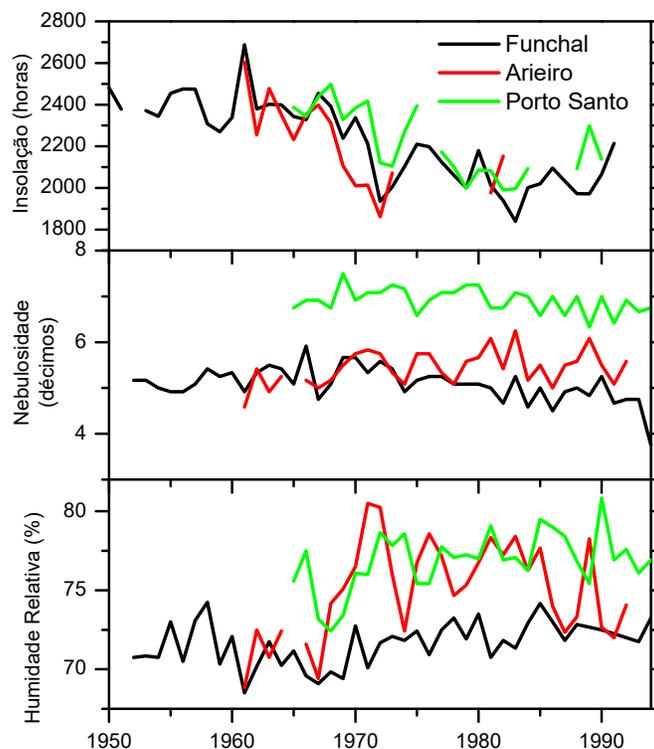


Figura 2.21 - Evolução da insolação (diária), e da nebulosidade e humidade relativa (às 9 horas) nas estações do Funchal, Arieiro e Porto Santo.

## 2.5 Discussão

O Arquipélago da Madeira apresenta grandes gradientes climáticos que resultam em larga medida de efeitos orográficos e em menor grau de efeitos sinópticos. Deste facto resulta alguma

dificuldade na obtenção de distribuições espacializadas das variáveis climáticas, que podem tornar-se excessivamente dependentes dos métodos de interpolação. Em consequência recomenda-se a utilização de técnicas de interpolação com sentido físico, devidamente validadas com séries de observações. Este assunto é abordado mais à frente nos capítulos 3 e 4.

As séries históricas de observações climáticas da Madeira e do Porto Santo indicam importantes tendências do clima médio, no sentido de um aquecimento progressivo ao longo do último século, em fase com o aquecimento global mas a uma taxa francamente mais elevada. As séries históricas de precipitação caracterizam o clima da Madeira como um clima de forte variabilidade interanual, com anos secos a sucederem a anos húmidos, como é típico do clima Mediterrânico. No clima actual a disponibilidade média de água é relativamente elevada na Ilha da Madeira, mas é fortemente dependente da precipitação em altitude nos anos húmidos. No Porto Santo, pelo contrário, existe uma escassez crónica de água. Estas características tornam o Arquipélago vulnerável a alterações do regime de precipitação como as consideradas em alguns cenários de mudança climática (ver capítulo 4).

## 2.6 Agradecimentos

Os dados meteorológicos analisados neste capítulo foram fornecidos pelo Instituto de Meteorologia, ao qual os autores estão particularmente gratos. Agradece-se em especial a Álvaro Silva e Sofia Moita do mesmo instituto pelo apoio prestado na elaboração da cartografia da Madeira em SIG e na representação da orografia do Porto Santo.

## 2.7 Referências

- Jones, P.D., M. New, D.E. Parker, S. Martin & I.G. Rigor. 1999. Surface air temperature and its change over the past 150 years. *Review of Geophysics* 37:173-199.
- Karl, T.R., R.W. Knight & B. Baker. 2000. The record breaking global temperature of 1997 and 1998: evidence for an increase in the rate of global warming? *Geophysical Research Letters* 27:719-722.
- Klein Tank, A.M.G., J.B. Wijngaard, G.P. Können, R. Böhm, G. Demarée, A. Gocheva, M. Mileta, S. Pashiardis, L. Hejkrlik, C. Kern-Hansen, R. Heino, P. Bessemoulin, G. Müller-Westmeier, M. Tzanakou, S. Szalai, T. Pálsdóttir, D. Fitzgerald, S. Rubin, M. Capaldo, M. Maugeri, A. Leitass, A. Bukantis, R. Aberfeld, A.F.V. van Engelen, E. Forland, M. Miletus, F. Coelho, C. Mares, V. Razuvaev, E. Nieplova, T. Cegnar, J.A. López, B. Dahlström, A. Moberg, W. Kirchhofer, A. Ceylan, O. Pachaliuk, L.V. Alexander & P. Petrovic. 2002. Daily dataset of 20<sup>th</sup> century surface air temperature and precipitation series for European Climate Assessment (ECA). *International Journal of Climatology* 22:1441-1453.
- Machado, M.J.S.S. 1970. Balanço Hídrico e Clima da Ilha da Madeira, Serviço Meteorológico Nacional, 19 pp.
- Miranda, P.M.A., F.E.S. Coelho, A.R. Tomé, & M.A. Valente. 2002. 20th Century Portuguese Climate and Climate Scenarios. 2º Capítulo in Santos, F.D., K. Forbes e R. Moita (Editores). *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project*. Gradiva, Lisboa, Portugal, 454pp.

- Miranda, P.M.A., M.A.Valente, A.R. Tomé, R. Trigo, F. Coelho, A. Aguiar & E.B. Azevedo. 2006. O clima de Portugal nos séculos XX e XXI. 2º Capítulo in Santos, F.D. e P. Miranda (Editores): Alterações climáticas em Portugal: Cenários, impactos e medidas de adaptação - Projecto SIAM II. Gradiva, Lisboa, Portugal, 506pp.
- Miranda, S. 2003. Clima da Madeira, Estágio de Licenciatura em Ciências Geofísicas, Fac. Ciências da Universidade de Lisboa.
- Osborn, T.J., K.R. Briffa, S.F.B. Tett, P.D. Jones & R.M. Trigo. 1999. Evaluation of the North Atlantic Oscillation as simulated by a coupled climate model. *Climate Dynamics* 15:685-702.
- Plano Regional da Água da Madeira. 2003. Relatório Técnico, disponível online em <http://www.gov-madeira.pt/sra/geomedia/balcaoverde/PDF/PlanoRegionalAgua/PRAM-RelatorioTecnico.pdf>
- Santos, F.D. & P. Miranda (Editores). 2006. Alterações climáticas em Portugal: Cenários, impactos e medidas de adaptação - Projecto SIAM II. Gradiva, Lisboa, Portugal, 506pp.
- Tomé, A.R. & P.M.A. Miranda. 2004. Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters, *Geophysical Research Letters* 31:L02207, doi:12.1029/2003G019100.
- Tomé, A.R. & P.M.A. Miranda. 2005. Continuous partial trends and low-frequency oscillations of time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 12:451-460.
- Trigo, R.M., T.J. Osborn & J. Corte-Real. 2002. The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate Research* 20:9-17.
- Walpe, A.M. & J.H. Lawrimore (Editores). 2003. State of the Climate in 2002. *Bulletin of the American Meteorological Society* 84:Nº6, S1-S68