
CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO METEOROLÓGICA

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

■ CLIMA:

- Determina a **duração e severidade das épocas** de incêndios.
- Controla a produtividade vegetal / **carga de combustível**

■ METEOROLOGIA

- Temperatura, humidade relativa do ar e o vento controlam a humidade dos combustíveis ⇒ **probabilidade de ignição e comportamento do fogo.**

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

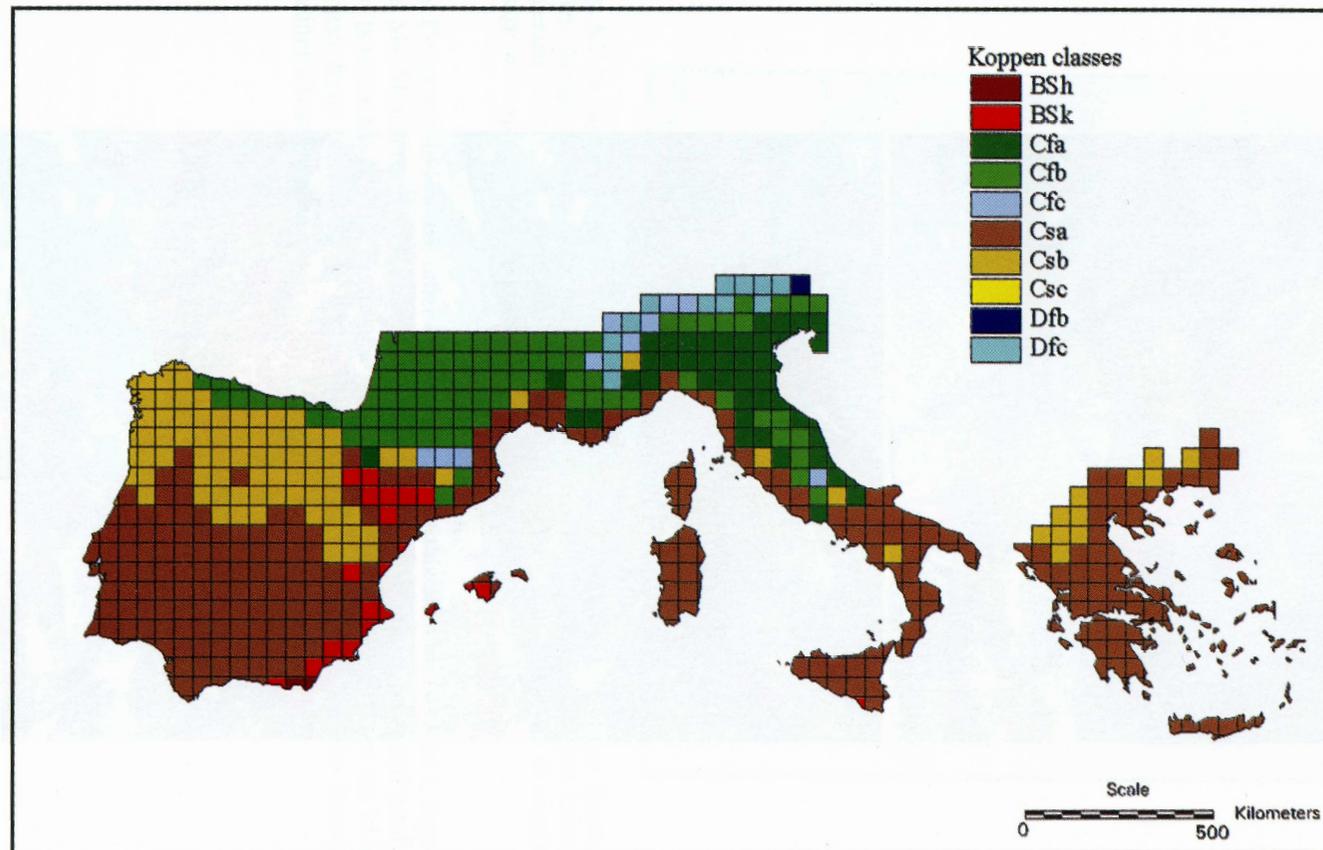
- A classificação climática de Köppen baseia-se no conceito de que **a vegetação é a melhor expressão do clima**. As zonas climáticas foram definidas de modo a reflectir a distribuição da vegetação potencial.
- Combina a temperatura média anual e mensal, a precipitação e a sazonalidade da precipitação e considera **5 grandes grupos**, com vários tipos e sub-tipos:
 - Tropical
 - Seco
 - Temperado
 - Continental
 - Polar

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- O clima de Portugal é **temperado**, de **tipo Mediterrâneo**, incluindo os sub-tipos **Csa** e **Csb**.
- São climas típicos das fachadas Oeste dos continentes, entre as latitudes de 30 e 45°.
- A temperatura média do mês mais quente é $> 10^{\circ}\text{C}$ e a T média do mês mais frio varia entre -3°C e 18°C .

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

Classificação climática de Köppen aplicada ao Sul da Europa.



CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

■ CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN

- A letra **s** indica **Verões secos** (mês mais seco de Verão com P média < 30 mm e menos de 1/3 da P do mês mais chuvoso de Inverno).
- A letra **a** indica T média do mês mais quente > 22 °C e **b** indica T média do mês mais quente < 22 °C, com pelo menos 4 meses com T média > 10°C.
- Do ponto de vista do fogo, o aspecto fundamental é a **coincidência do período de maior calor com o de maior secura**.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- O **índice de Chandler** é um **índice climatológico** concebido especificamente para caracterização piroclimatológica.
- Quantifica os efeitos da **temperatura e humidade média mensais** sobre a intensidade e a velocidade de propagação do fogo.
- Tanto a intensidade como a velocidade da frente dependem linearmente da temperatura, mas dependem exponencialmente da humidade, de modo que um pequeno decréscimo de humidade implica um acréscimo grande do índice.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- O índice de Chandler (**C**handler **B**urning **I**ndex)

$$\text{CBI} = (I * S) / 60$$

I = componente **Intensidade**

$$I = (110 - 1.373 * \text{HR}) - 0.54 * (10.20 - T)$$

S = componente **Propagação**

$$S = (124 * 10^{**}(-0.0142 * \text{HR}))$$

HR = humidade relativa média mensal ao meio-dia (%)

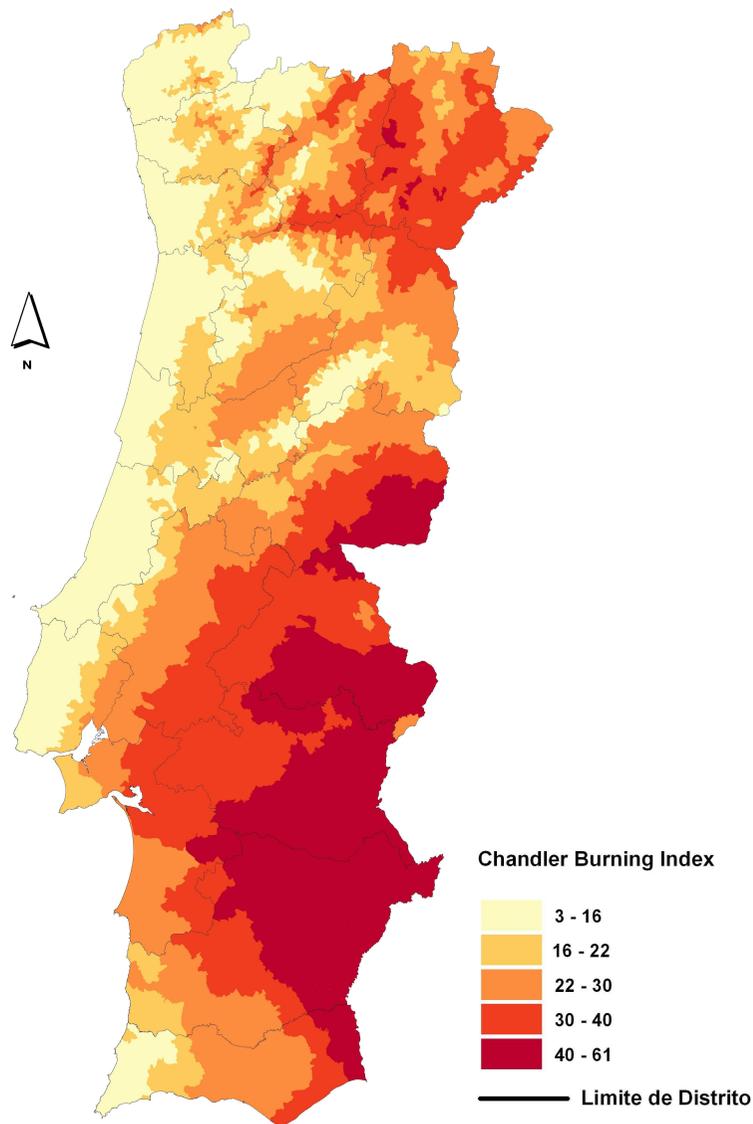
T = temperatura média mensal ao meio-dia (°C)

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

A relação entre o CBI e o comportamento do fogo é a seguinte:

CBI	Comportamento
1 – 19	fogo rasteiro.
20 – 39	fogo de superfície.
40 – 59	fogo rápido de superfície, esporadicamente atinge copas.
60 – 79	fogo intenso, com projecção de fagulhas e queima frequente de copas.
> 80	provável propagação do fogo através das copas.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



- Os valores mais altos do CBI ocorrem no interior centro/sul.
- São as zonas do país onde o nº de fogos e a área queimada são menores.
- O predomínio do uso agrícola e agro-florestal da terra e a baixa densidade populacional, desfavoráveis à alta incidência do fogo, sobrepõem-se à influência do clima.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

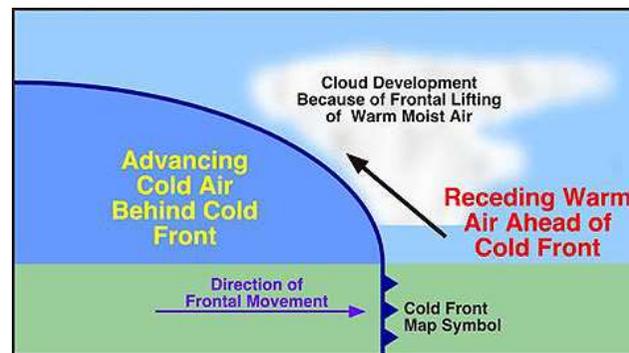
- As condições que favorecem ocorrência de grandes incêndios e/ou dias com muita área queimada são:
 - Combustíveis secos
 - Tempo quente, seco e ventoso
- A **passagem de frentes frias** causa perturbações atmosféricas potenciadoras de comportamento severo dos fogos.
- Os períodos de seca prolongada estão associados à ocorrência de **situações de bloqueio** em altitude, por vezes estruturadas em forma de **cristas anticiclónicas**.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- **Bloqueios** são situações na qual há interrupção do movimento normal para leste das depressões, cavados, anticiclones e cristas, por um certo período de tempo.
- Um bloqueio pode persistir por vários dias, ou mesmo semanas. A área afectada terá o mesmo tipo de tempo durante um período prolongado.
- As **cristas anticiclónicas**, ou de altas pressões são grandes áreas de circulação atmosférica no sentido dos ponteiros do relógio (no hemisfério N), onde ocorre subsidência de ar em larga escala. Esta subsidência determina condições de céu limpo e calor e secura à superfície.
- A **escala sinóptica** de movimento compreende fenómenos cuja dimensão horizontal varia aproximadamente entre 2.000 e 10.000 km e cujas escalas de tempo variam entre dias e semanas. Depressões, anticiclones móveis e depressões frontais são exemplos de fenómenos de escala sinóptica.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- **Frente fria** é a zona de transição onde uma massa de ar frio substitui uma massa de ar quente. As frentes frias geralmente deslocam-se de NW para SE. O ar atrás duma frente fria é mais frio e seco do que o ar a jusante.
- A massa de ar frio força a elevação da massa de ar quente que, se tiver humidade suficiente, pode gerar nuvens, precipitação e trovoadas. As frentes frias secas têm os efeitos mais perigosos sobre os fogos.
- A passagem duma frente fria provoca variações da velocidade e direcção do vento, tipicamente de SW para NW. As frentes frias deslocam-se a velocidades entre os 25 e os 50 km.h⁻¹.

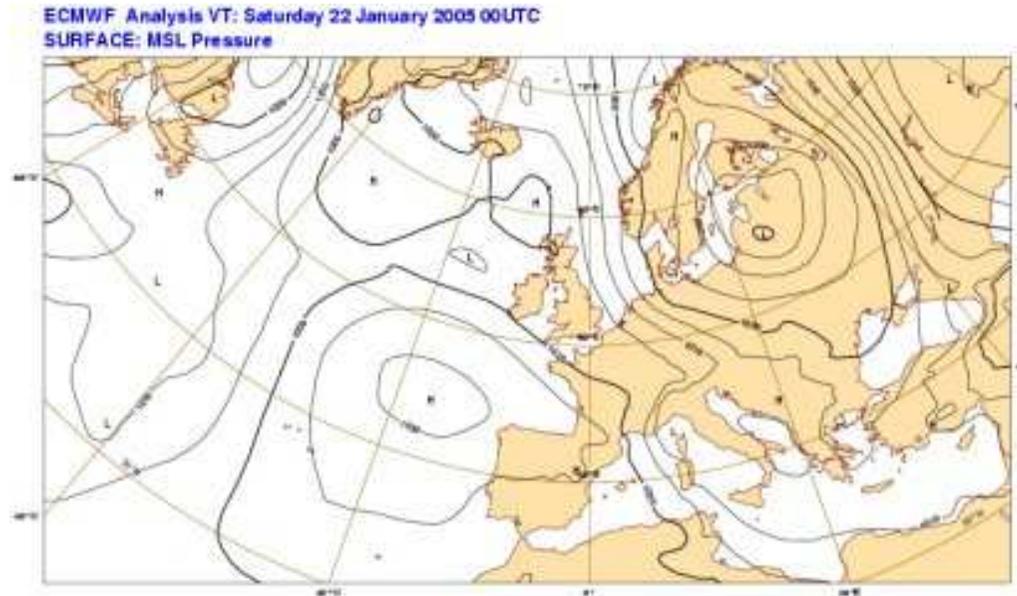


CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- Variação das condições meteorológicas associadas à passagem duma frente fria

	Antes	Durante	Depois
Vento	S-SW	rajadas; errático	W-NW
Temperatura	quente	queda brusca	queda continuada
Pressão	queda continuada	mínimo, depois subida brusca	subida continuada
Precipitação	curto período de aguaceiros	chuva forte, por vezes granizo e trovoada	aguaceiros, depois limpa
Visibilidade	fraca a má, com névoa	fraca, melhorando	boa, excepto durante aguaceiros
Ponto de orvalho	alto, estável	queda brusca	continua a descer

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

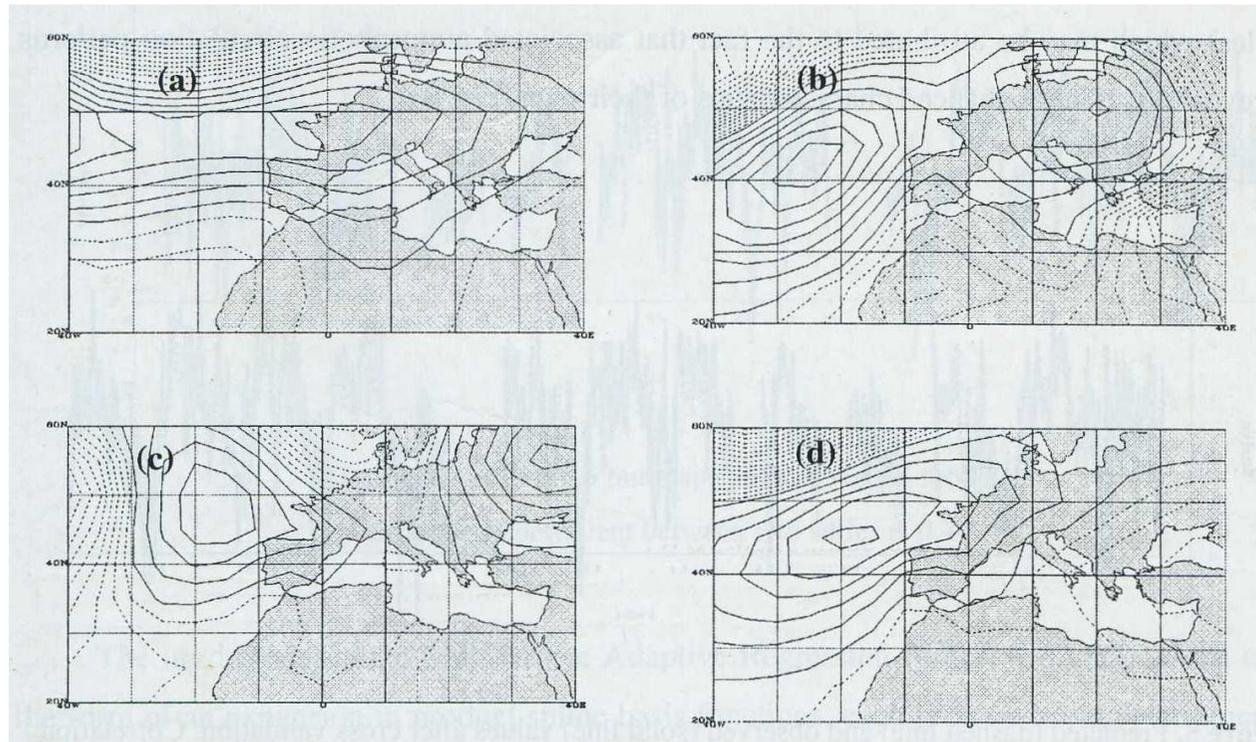


- A situação geográfica do território de Portugal Continental é favorável à ocorrência de episódios de seca, quase sempre associados a situações de bloqueio em que o anticiclone subtropical do Atlântico Norte (ou dos Açores) se mantém numa posição que impede que as perturbações da frente polar atinjam a Península Ibérica.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- Em Portugal, os grandes incêndios ocorrem quando a circulação atmosférica forma uma crista anticiclónica pronunciada sobre a Península Ibérica, e o fluxo é dominado por uma forte componente meridional.
- Estes dias estão associados a condições atmosféricas de SE, com forte advecção de ar do N de África, que aquece ainda mais ao atravessar a Meseta Ibérica.
- O anticiclone dos Açores alonga-se em crista sobre a Europa Central e liga-se com um centro de altas pressões no Mediterrâneo, induzindo a referida advecção de ar africano, quente e seco.
- Esta configuração é relativamente rara, já que a circulação sinóptica de Verão, em Portugal, é fortemente dominada por padrões de circulação atmosférica com uma componente de N ou NW.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



- Síntese estatística de padrões sinópticos associados a dias de Verão com área queimada abaixo da média (b), média (c) e acima da média (d). Notar em d) o alongamento em crista do anticiclone dos Açores e a longa trajectória continental do ar proveniente do quadrante Leste.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

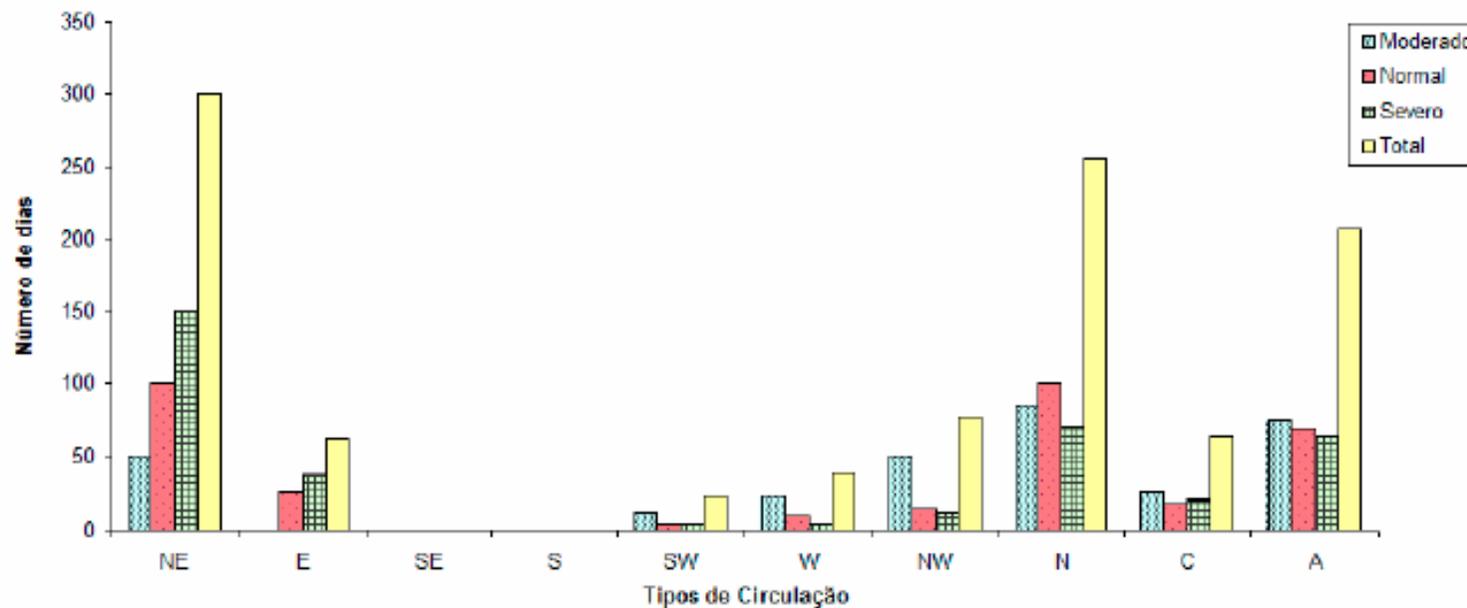


Figura 10. Frequência da ocorrência de cada Tipo de Circulação (TC) para cada categoria de risco de incêndio (adaptado de DaCamara, *et al.*, 1998).

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

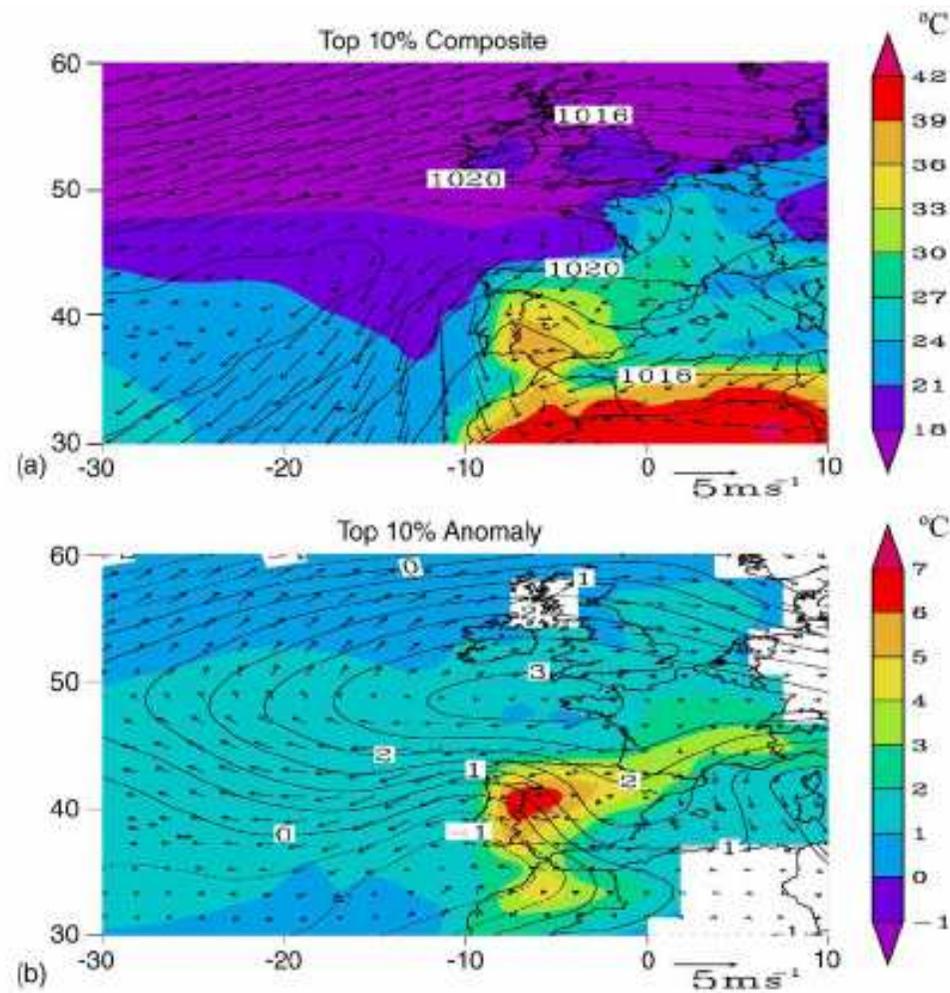
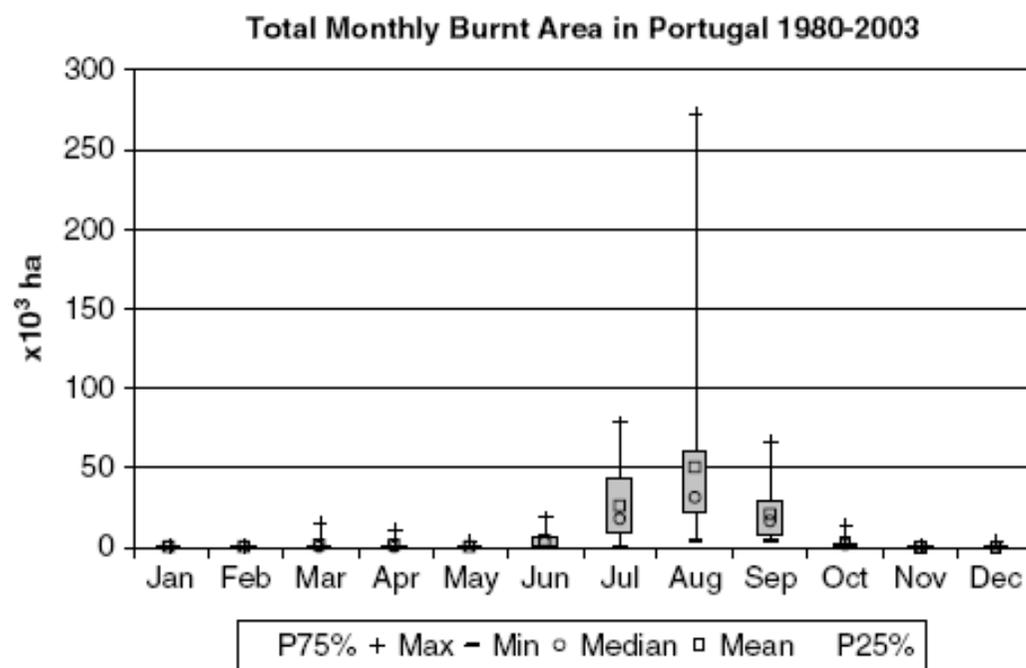


Fig. 6. Maximum temperature ($^{\circ}C$), at 2m height ($T_{x,2}$) for (a) composite for the 10% highest burnt area days in Portugal and (b) the corresponding 10% anomaly. Contour lines and arrows show, respectively, the corresponding sea level pressure (mb) and 10 m height wind fields ($m s^{-1}$). Climate anomaly field ($T_{x,2}$) is represented only in those areas where such anomaly is significant at the 1% level (or 99% confidence level) computed with a two-tailed t -test.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

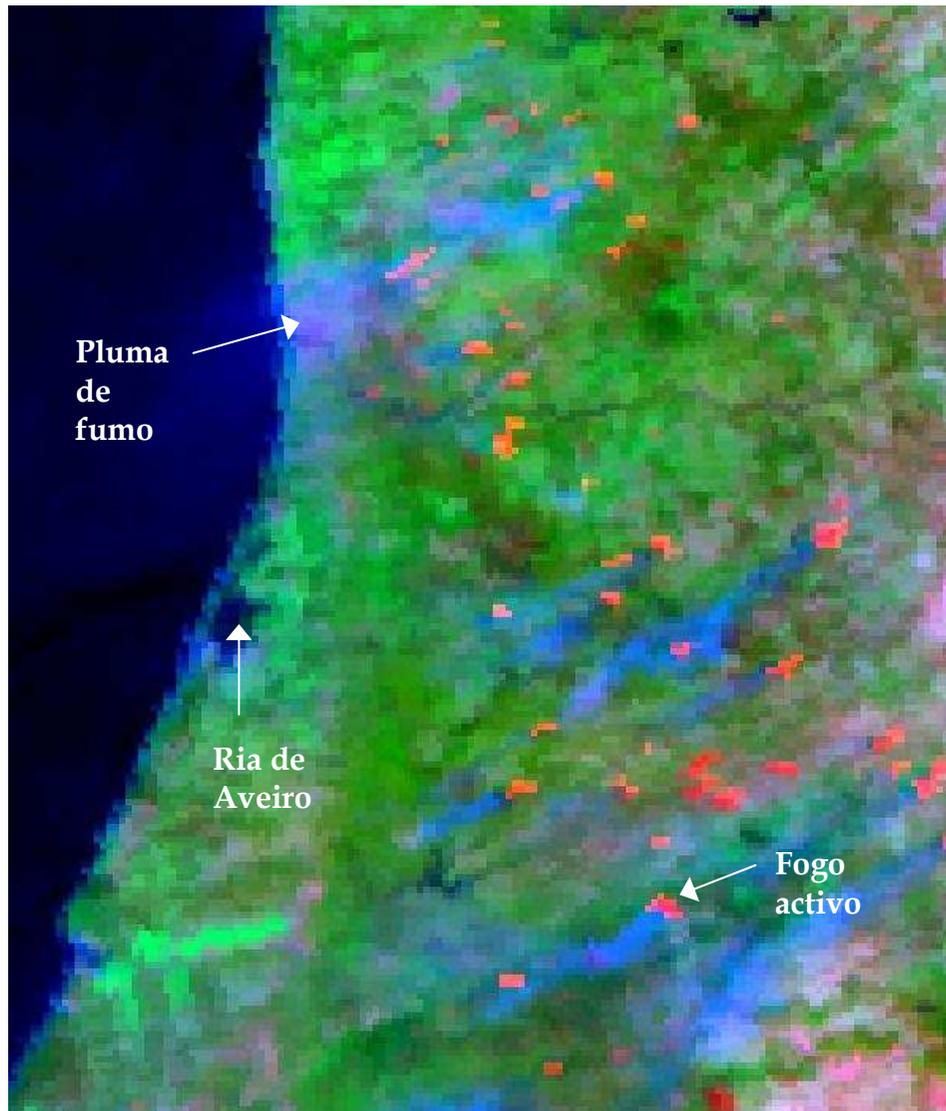
- No período entre 1980 e 2003, 93% da área queimada registou-se durante os meses de Verão (Junho a Setembro).
- **80% da área queimada** ocorreu durante apenas **10% dos dias de Verão**, i.e. em cerca de 12 dias com a situação sinóptica descrita antes.



CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

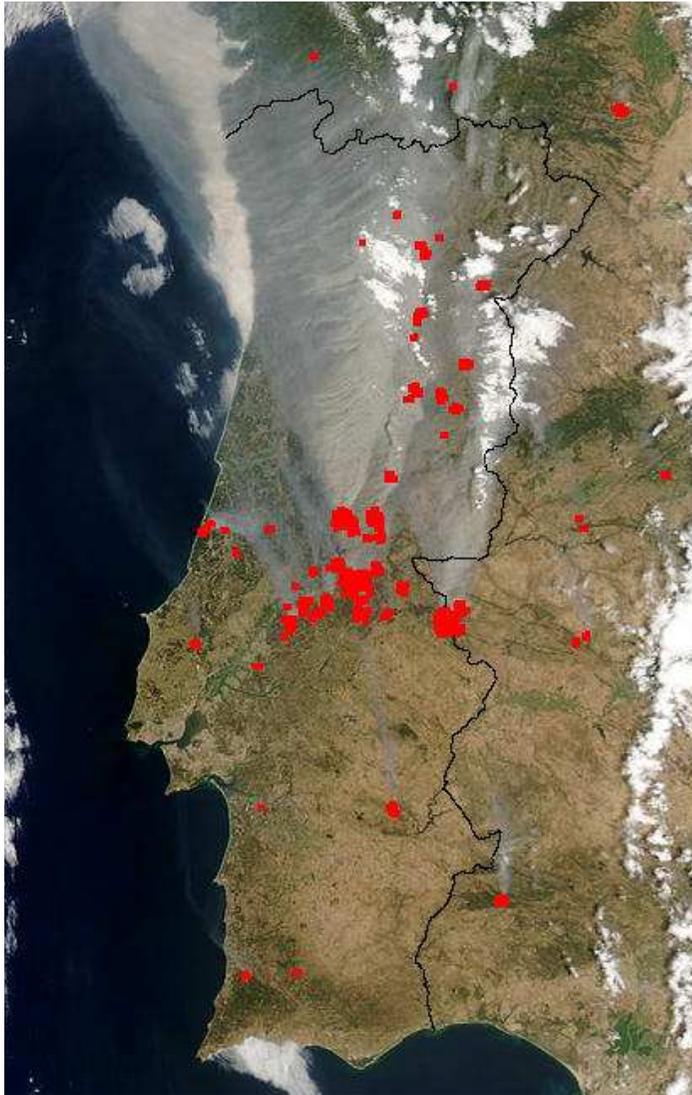
- A extensão da área queimada em Portugal, em cada ano, é controlada por dois factores:
 - a ocorrência de um período seco relativamente longo no fim da Primavera e/ou início do Verão.
 - a ocorrência de ondas de calor durante o Verão, sob condições sinópticas pouco comuns.
- O primeiro factor é uma **anomalia climática**, com escala temporal mensal ou sazonal. O segundo factor é uma **anomalia meteorológica**, com escala temporal tipicamente inferior a uma semana.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



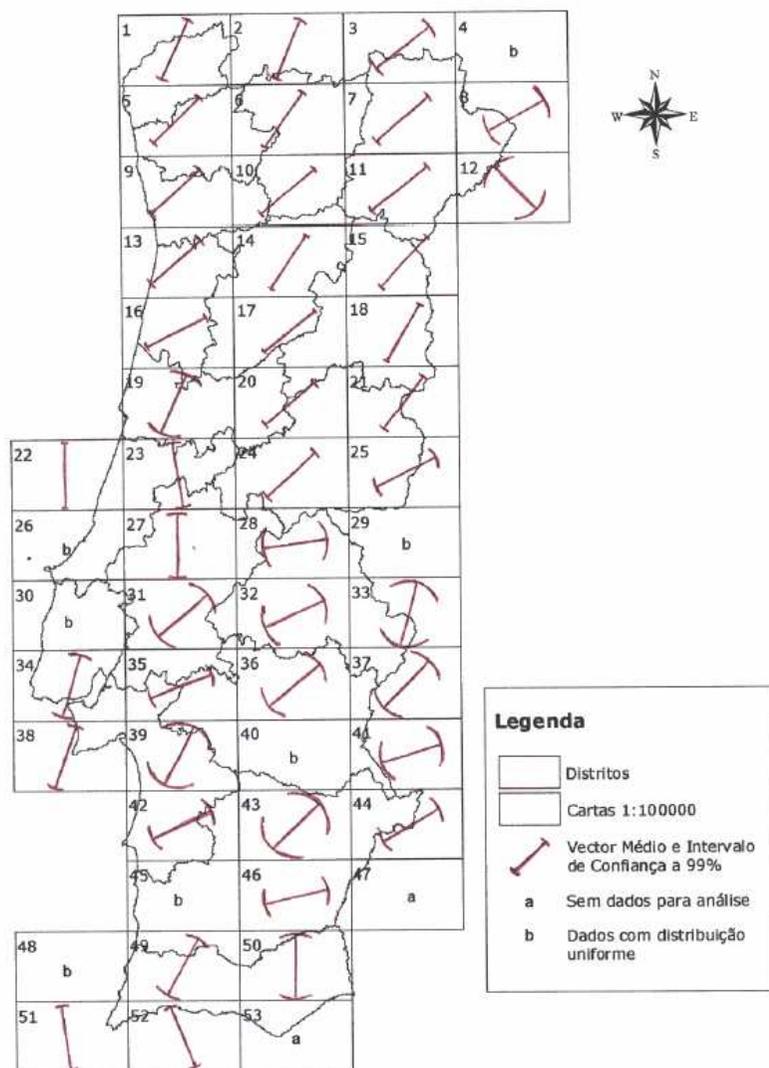
- Imagem do satélite NOAA / AVHRR, de 4 de Agosto de 1998, às 14.30 h.
- Há dezenas de grandes fogos em actividade, com vento de NE, como se vê pela orientação das plumas de fumo.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



- Imagem do satélite MODIS / AQUA, de 3 de Agosto de 2003, às 14.00 h.
- Neste dia arderam 50.000 ha, cerca de metade do valor médio anual de área queimada durante os anos 90.
- A direcção dominante do vento é de Sul.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



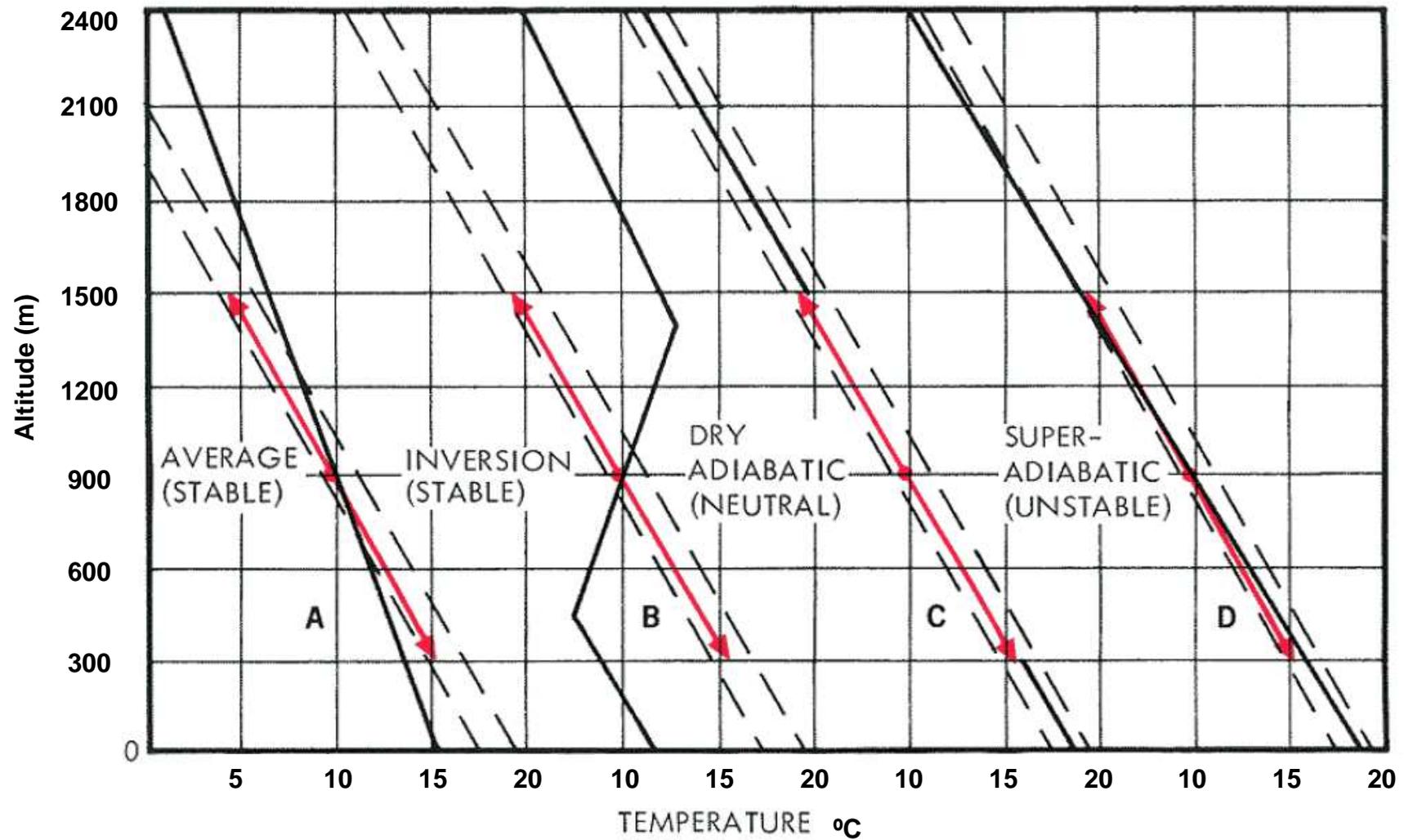
- Orientação das áreas queimadas em Portugal Continental (1990 – 2001).
- Nas zonas onde é maior a incidência do fogo, predominam áreas queimadas com orientação NE – SW, concordante com os padrões de circulação sinóptica de maior severidade para o fogo.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

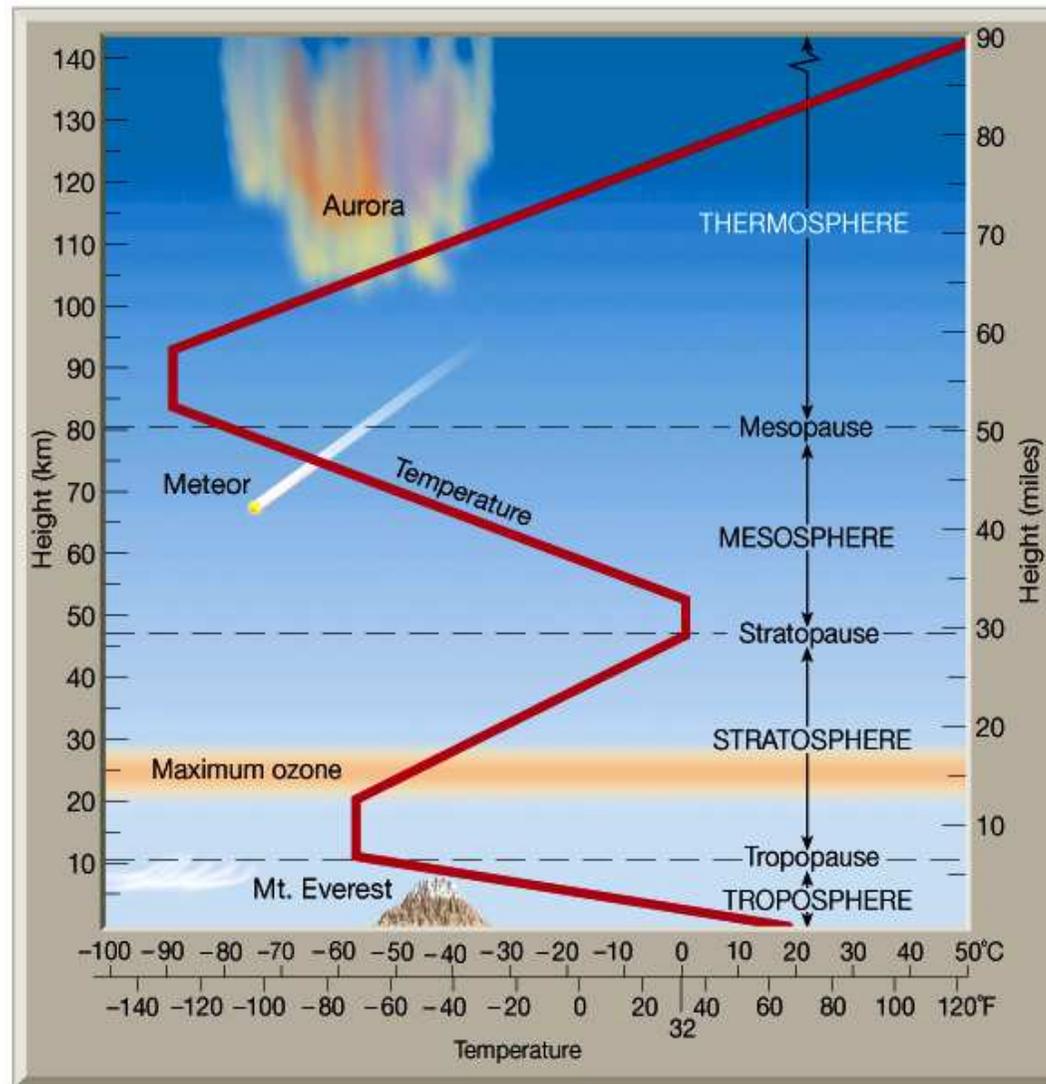
■ ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA

- ❑ **Estabilidade atmosférica** é a resistência da atmosfera a movimentos verticais das massas de ar.
- ❑ O calor produzido pelos fogos gera movimentos verticais do ar, por convecção, que são afectados pelo grau de estabilidade atmosférica.
- ❑ Numa atmosfera instável, os ventos tendem a ser turbulentos, provocando comportamentos erráticos do fogo.
- ❑ A subsidência de massas de ar, deslocando-se das altas para as baixas pressões, tende a trazer ar muito seco para a superfície, agravando o comportamento do fogo.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

■ ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA

- ❑ Estabilidade atmosférica é a resistência da atmosfera a movimentos verticais das massas de ar.
- ❑ O calor produzido pelos fogos gera movimentos verticais do ar, por convecção, que são afectados pelo grau de estabilidade atmosférica.
- ❑ Numa atmosfera instável, os ventos tendem a ser turbulentos, provocando comportamentos erráticos do fogo.
- ❑ A subsidência de massas de ar, deslocando-se das altas para as baixas pressões, tende a trazer ar muito seco para a superfície, agravando o comportamento do fogo.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

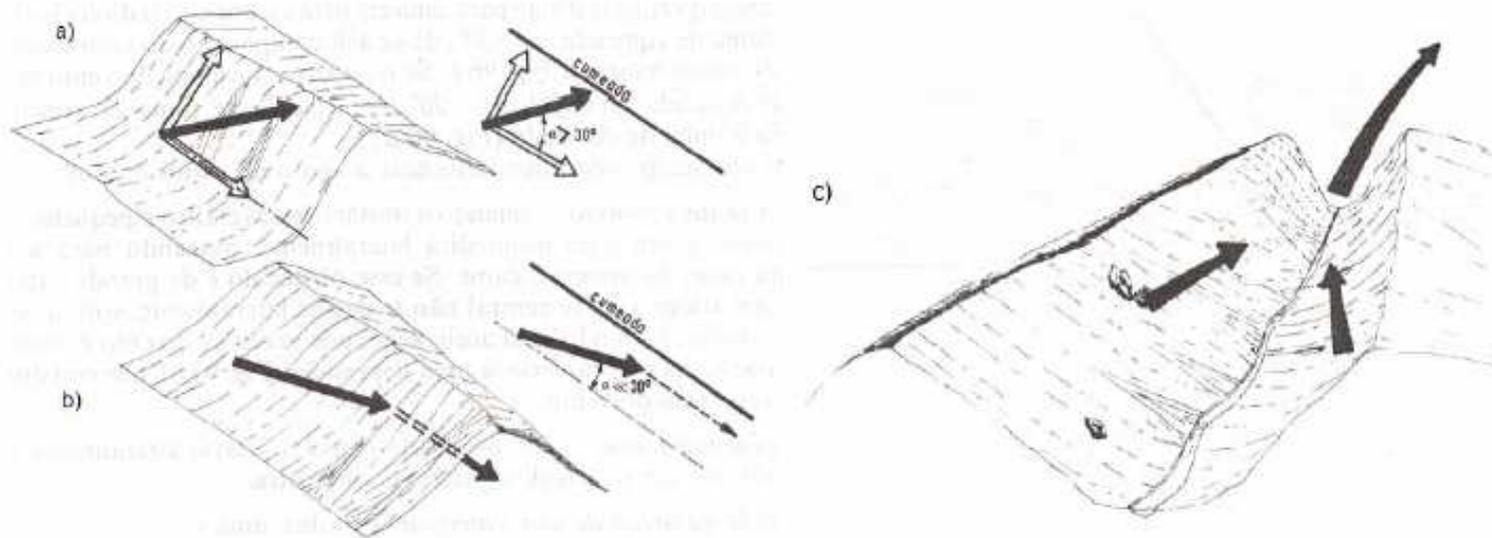


Figura 16. Influência do relevo sobre o vento a) ângulo com a linha de cumeada superior a 30° , b) ângulo com a linha de cumeada inferior a 30° , c) afunilamento de escoamento do ar (adaptado de Macedo e Sardinha, 1987).

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

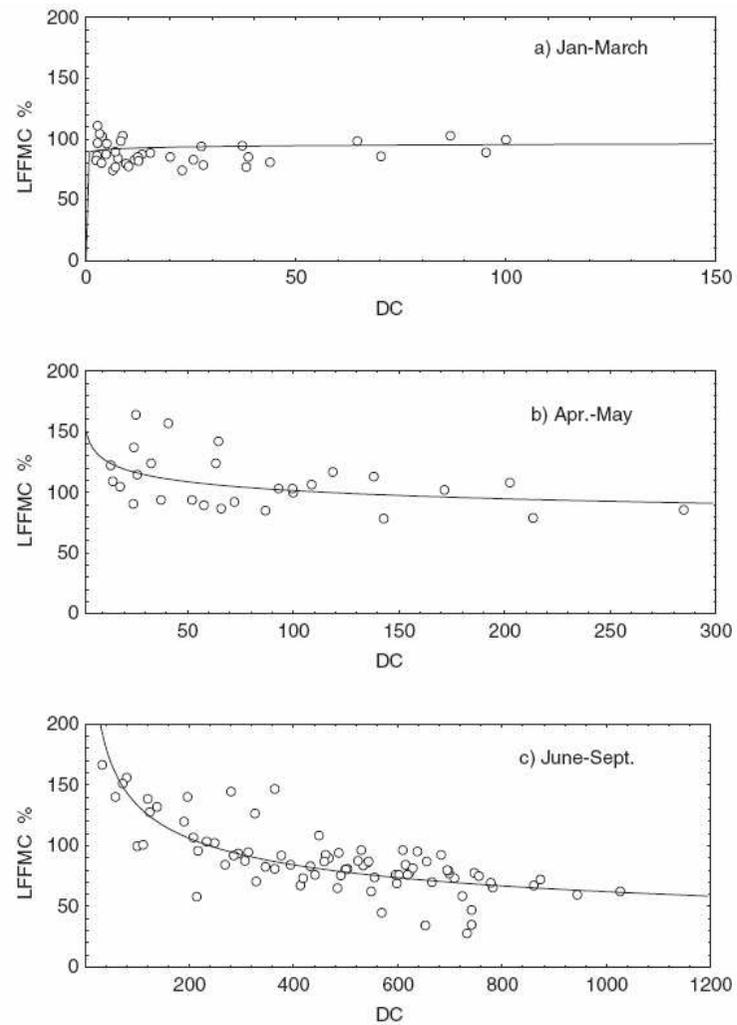


Fig. 7. Relationship between live fine fuel moisture content (LFFMC) and the Canadian Drought Code (DC) for *Calluna vulgaris* in three periods of the year (Lousã). (a) January–March; (b) April–May; (c) June–September.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- **Risco:** é a probabilidade de ocorrência de um evento indesejado e as suas consequências.
- **Risco de incêndio rural:** é a probabilidade de um incêndio rural acontecer num dado lugar, em circunstâncias específicas, juntamente com as suas consequências esperadas, definidas pelo seu impacte nos objectos afectados.

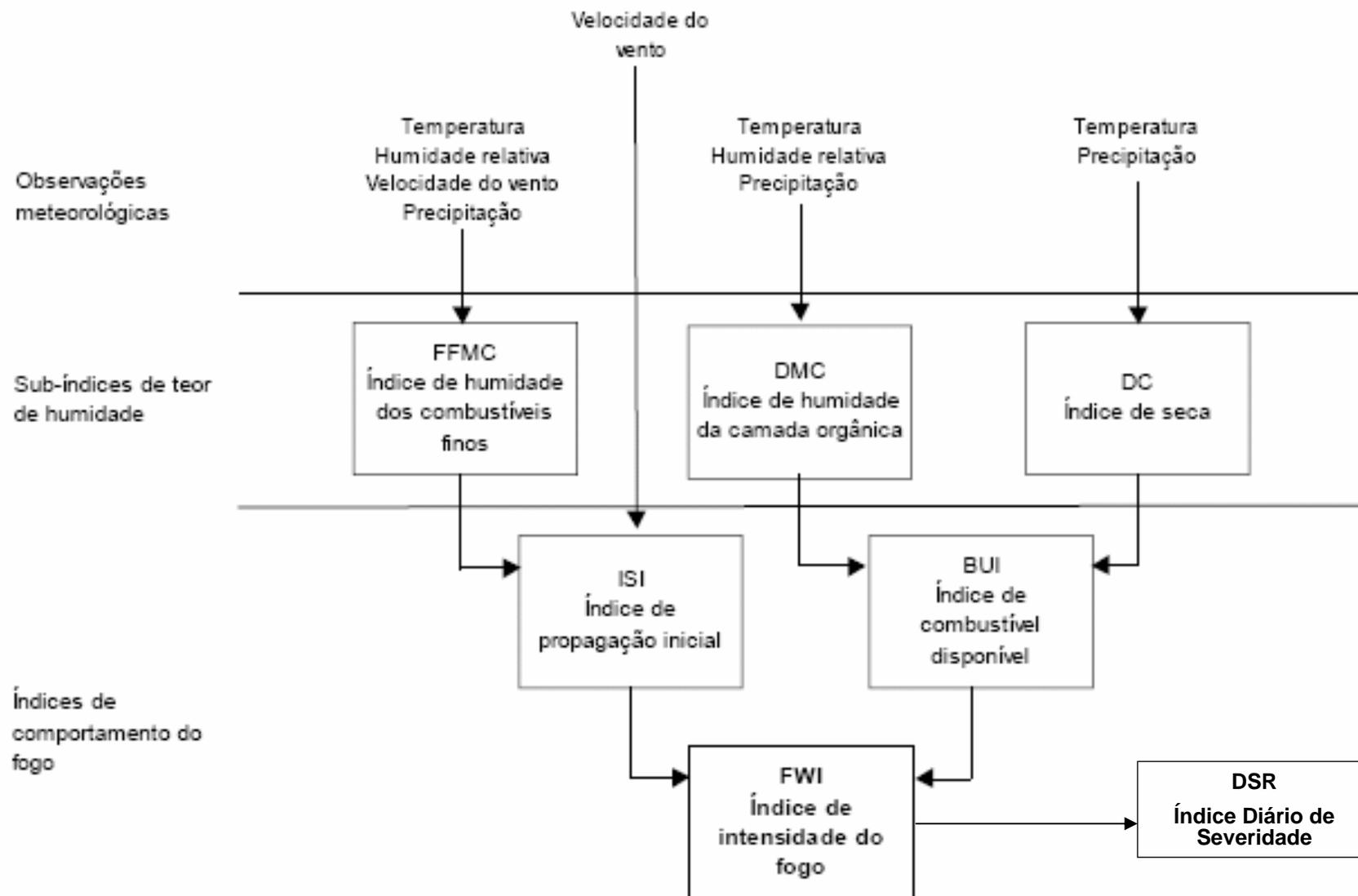
CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- Um estudo liderado pelo Prof. D.X. Viegas (U. Coimbra), comparou o desempenho de seis métodos de indexação do perigo de incêndio, face aos dados de ocorrência de incêndios em quatro países do Sul da Europa.
- Aplicando um conjunto de testes estatísticos, concluiu-se que o sistema Canadano, caracterizado pelo índice de perigo de incêndio ***Fire Weather Index (FWI)*** era aquele que tinha um melhor desempenho, quer na previsão do número de incêndios por dia, quer da área ardida por dia numa dada zona geográfica.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- O FWI têm 6 componentes. As 3 primeiras são **indicadores da humidade do combustível**, que acompanham as variações diárias da humidade de 3 classes de combustível com taxas de secagem distintas.
- As 3 últimas são **indicadores do comportamento do fogo** que representam a velocidade de progressão, carga de combustível consumido e intensidade do fogo.
- O cálculo do FWI requer apenas dados diários, obtidos ao meio dia local, de **temperatura, humidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação** nas 24 horas antecedentes. Os valores do FWI representam as condições às 16:00h.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- Para cada um dos 3 tipos de combustível considerados no FWI, existe um sub-índice, para calcular as variações de humidade associadas à secagem e ao humedecimento. Os seus valores aumentam à medida que o teor de humidade do combustível diminui.
- Os **3 sub-índices** e os seus combustíveis correspondentes são:
 - *Fine Fuel Moisture Code (FFMC)* – Índice de teor de humidade de combustíveis finos, e.g. folhada com 0.25 kg.m^{-2} .
 - *Duff Moisture Code (DMC)* - Índice de teor de humidade da camada orgânica em decomposição, com $\pm 5 \text{ kg.m}^{-2}$.
 - *Drought Code (DC)* – Índice de Secura, representativo do déficit de água no solo. O combustível-tipo será uma camada de matéria orgânica muito compactada, com $\pm 25 \text{ kg.m}^{-2}$.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

Table 1. Properties of the three fuel moisture codes

Code	Timelag days	Water capacity mm	Required parameters ¹	Nominal fuel depth cm	Nominal fuel load kg m ⁻²
FFMC	2/3	0.6	T, H, W, r	1.2	0.25
DMC	12	15	T, H, r, mo	7	5
DC	52	100	T, r, mo	18	25

¹T — temperature, H — humidity; W — wind, r — rain, mo — month.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

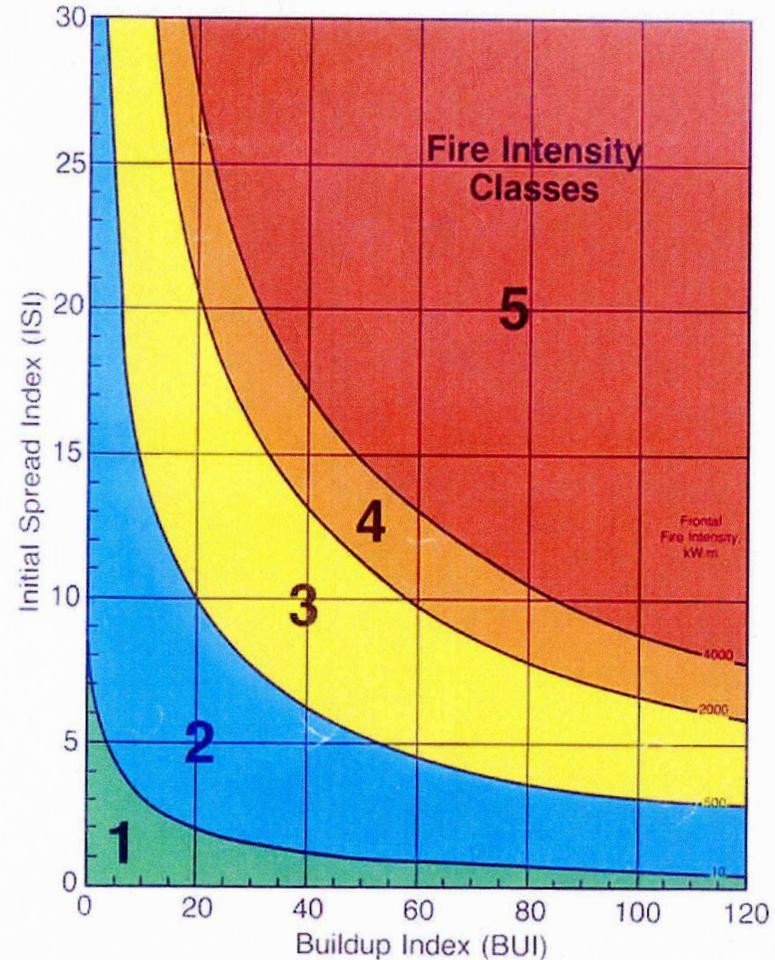
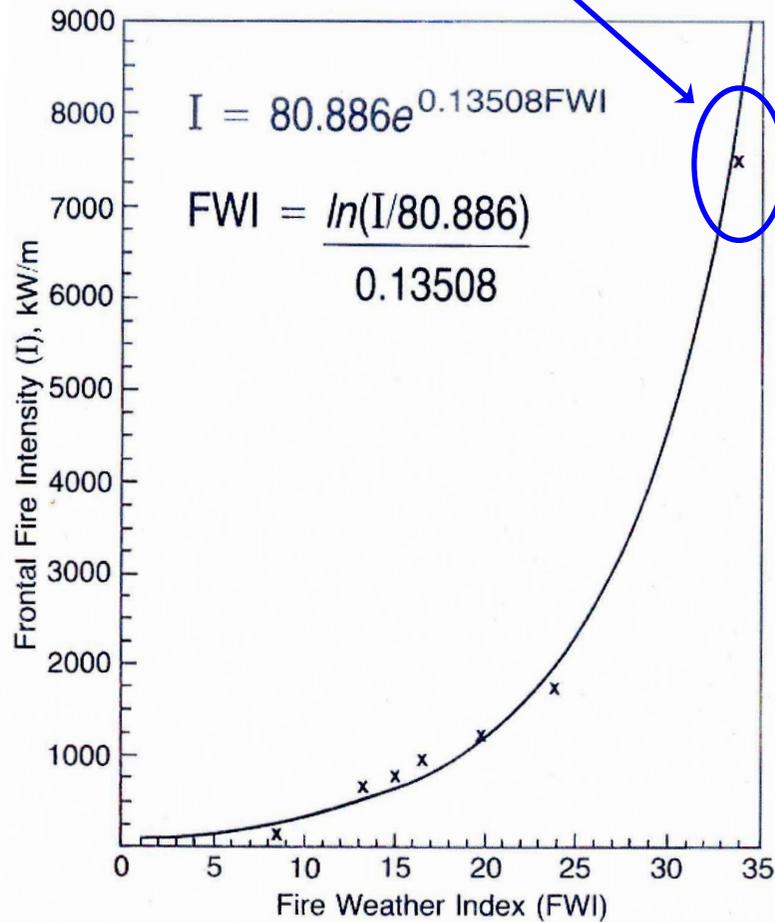
- Num nível intermédio estão dois índices relacionados com aspectos da propagação e efeitos do fogo. São o índice de propagação inicial (*Initial Spread Index*, **ISI**) e o índice de combustível disponível (*Buildup Index*, **BUI**):
 - **ISI**: incorpora o índice de teor de humidade dos combustíveis finos (**FFMC**) e o valor da velocidade do vento. Dá uma medida da velocidade de propagação do fogo em terreno plano, se não houver combate, p.ex. na fase inicial de um fogo nascente.
 - **BUI**: Integra os outros dois sub-índices, **DMC** e **DC** para obter uma estimativa da proporção da vegetação disponível – partículas médias e grossas- que participará, de facto, na propagação do fogo.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

- O resultado final do sistema combina os dois índices anteriores e chama-se índice de perigo (**FWI**). Relaciona-se mais directamente com a probabilidade de ocorrência de incêndios e com a severidade do seu comportamento.
- O FWI é, realmente, um índice de intensidade de propagação do fogo e pode considerar-se como um índice de comportamento.
- O Índice Diário de Severidade (*Daily Severity Rating*, **DSR**) quantifica a dificuldade de controle do fogo. Baseia-se no FWI, mas reflecte mais fielmente o esforço requerido para a supressão do fogo.

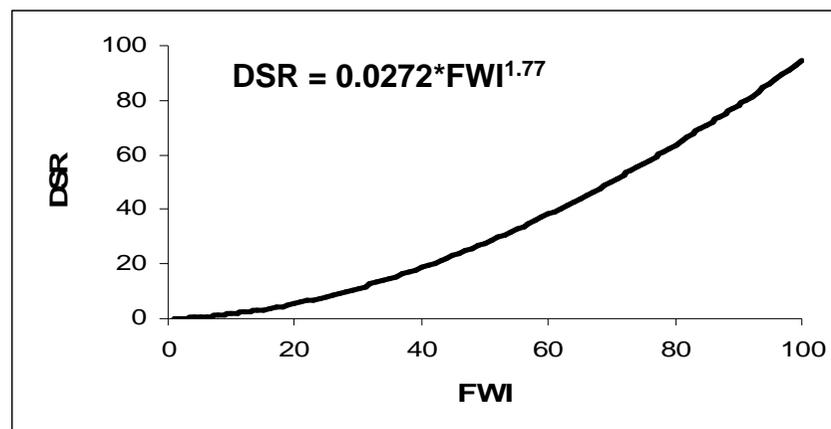
CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

Ponto muito influente



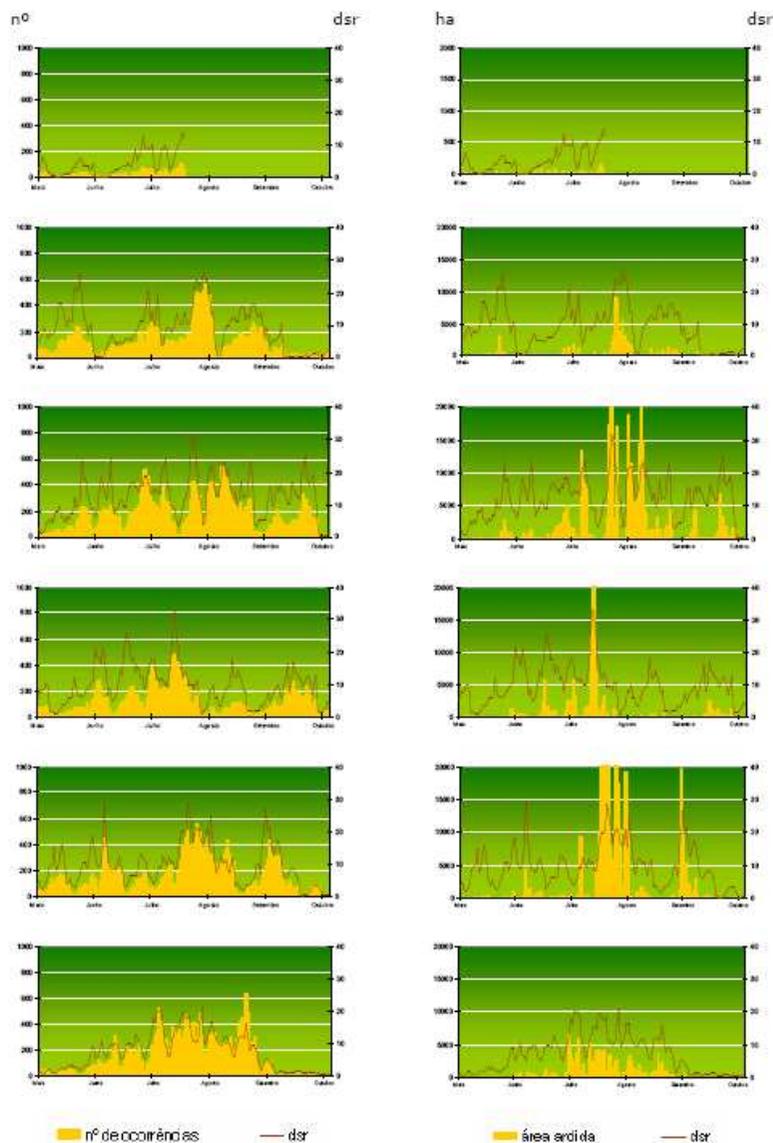
Fire Intensity Classes (refer to Table 1 for the fire control management applications).

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



- Por causa desta relação não-linear com o esforço de combate, o FWI não é recomendado para o cálculo de médias espaciais de várias estações num dado dia, ou numa mesma estação ao longo do tempo, devendo usar-se o DSR.
- O Índice Sazonal de Severidade (*Seasonal Severity Rating*, **SSR**) é a média dos valores de DSR para toda uma época de incêndios. Deve usar-se para comparar a severidade meteorológica entre anos ou entre regiões.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



- Evolução do nº de ocorrências, áreas ardidas e DSR em Portugal, entre 2002 e 2007.
- O DSR relaciona-se mais fortemente com o nº de fogos do que com a área queimada.
- Mas os picos de área queimada ocorrem sistematicamente com valores altos de DSR.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

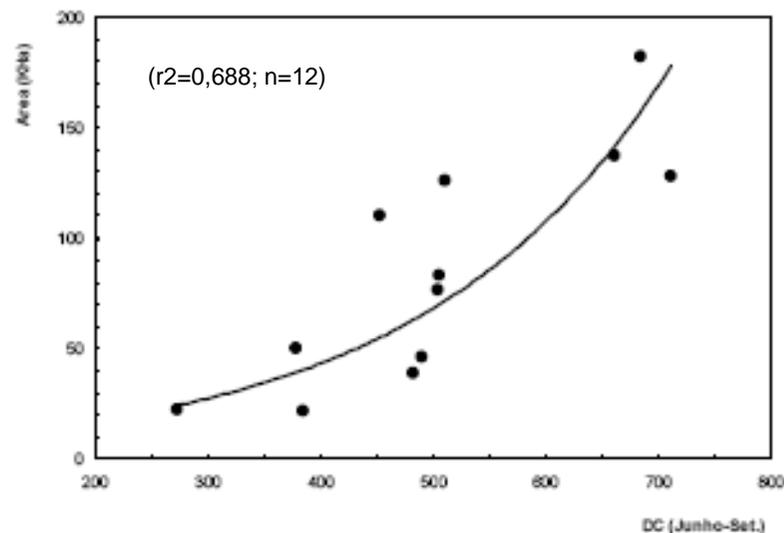


Figura 7 - Área queimada anualmente em Portugal Continental em função do valor médio do índice de secura DC, em Coimbra, entre Junho e Setembro. (Dados DGF 1987-2000)

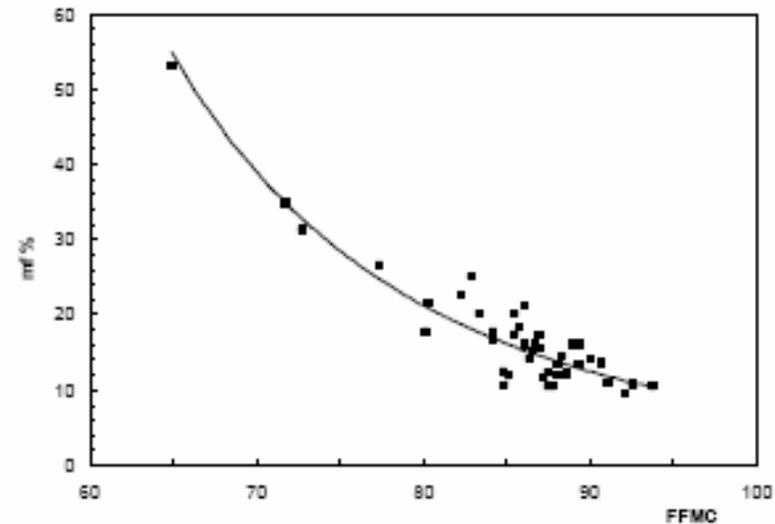


Figura 3 - Relação entre o teor de humidade de combustíveis mortos finos (*Eucalyptus globulus*) medido diariamente na Lousã e o valor de FFMC registado em Coimbra

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

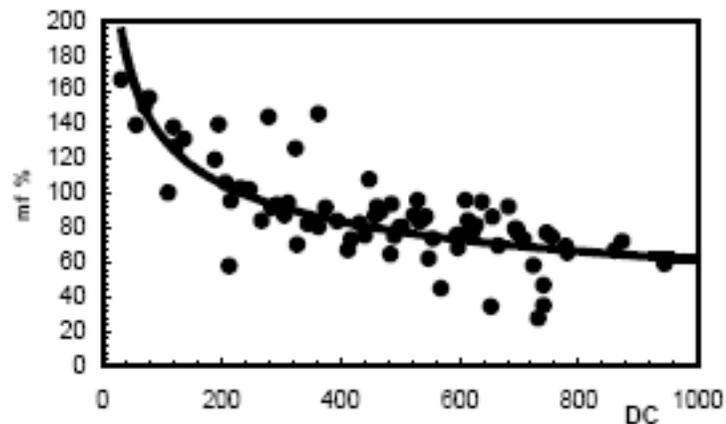


Figura 4 - Relação entre o teor de humidade de combustíveis arbustivos finos (*Calluna vulgaris*) medido na Lousã e o valor de DC registado em Coimbra (valores médios de dez dias)

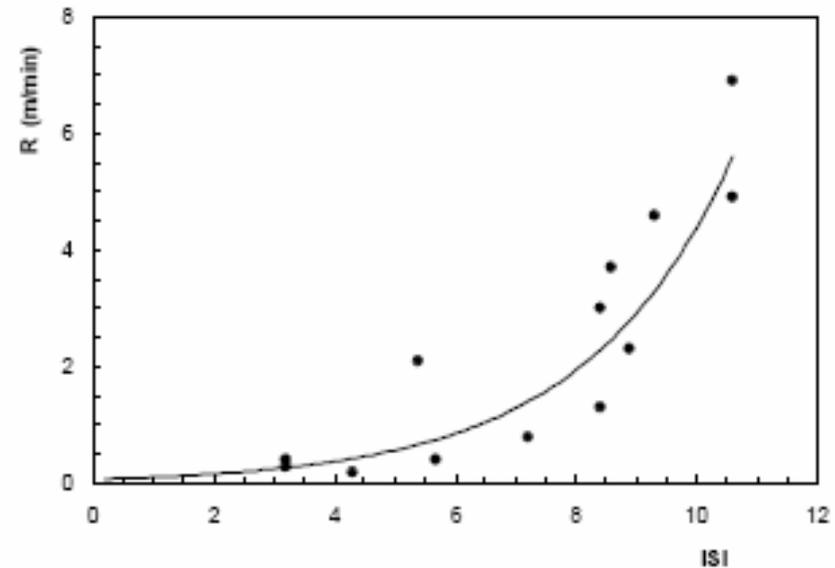
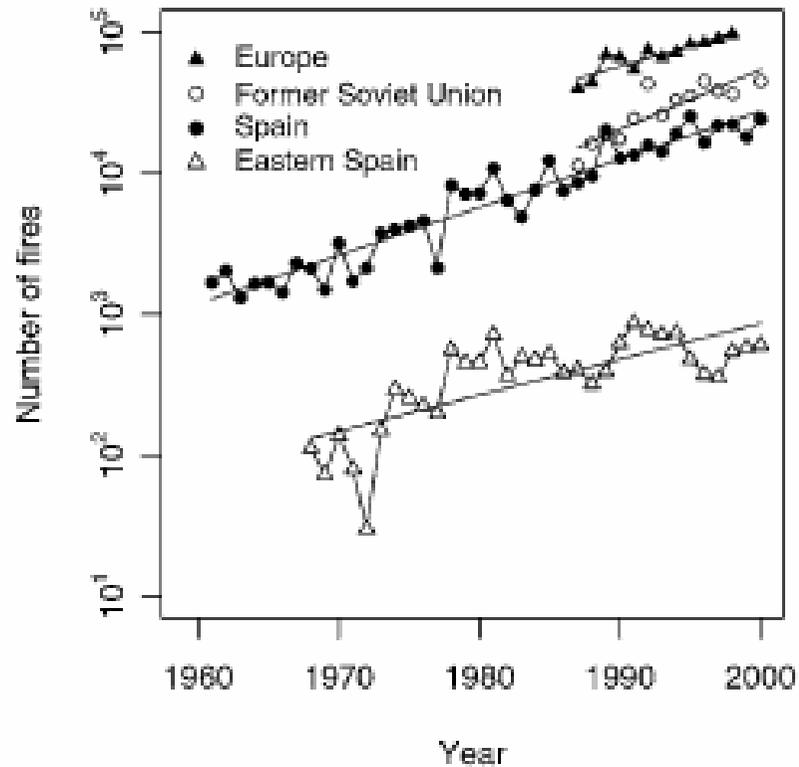


Figura 5 - Relação entre o índice de propagação inicial (ISI) e a velocidade de propagação medida ou estimada em vegetação arbustiva

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO



CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

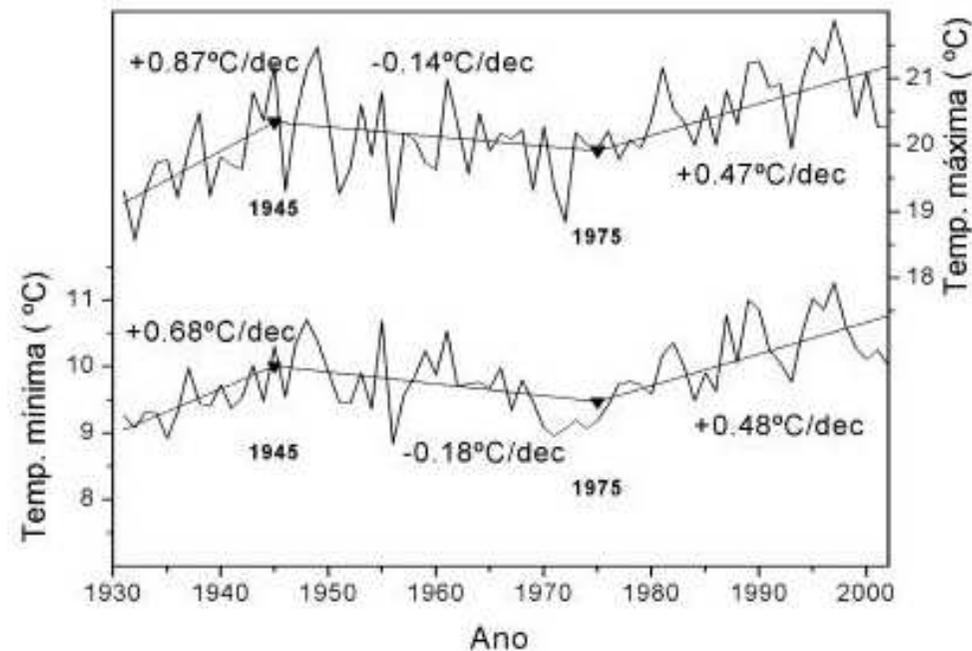


Fig. 0.6 – Evolução temporal das médias das temperaturas máxima (curva de cima) e mínima (curva de baixo) em Portugal Continental. Sobrepostos estão os ajustes lineares às curvas calculados com os anos de mudança das tendências de Karl *et al.* (2000) (1945 e 1975 - rectas a cheio). Os valores das tendências para os períodos 1930-1945, 1946-1975 e 1976-2002 estão assinalados em °C por década.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

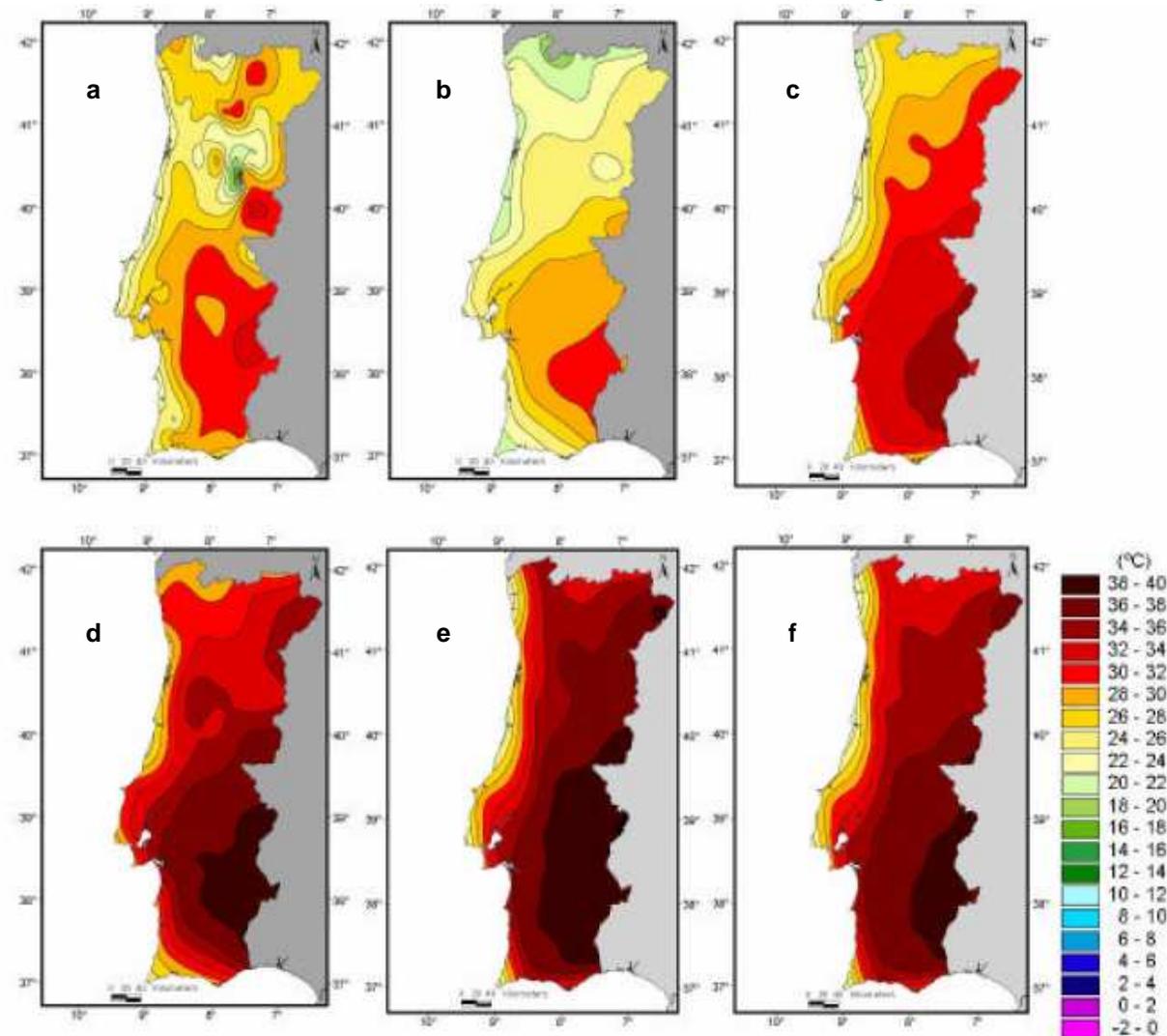


Fig. 0.62 – Média da temperatura máxima no Verão: (a) observações 1961-1990; (b) controlo HadRM2; (c) controlo HadRM3; (d) cenário IS92a HadRM2; (e) cenário A2 HadRM3; (f) cenário B2 HadRM3.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

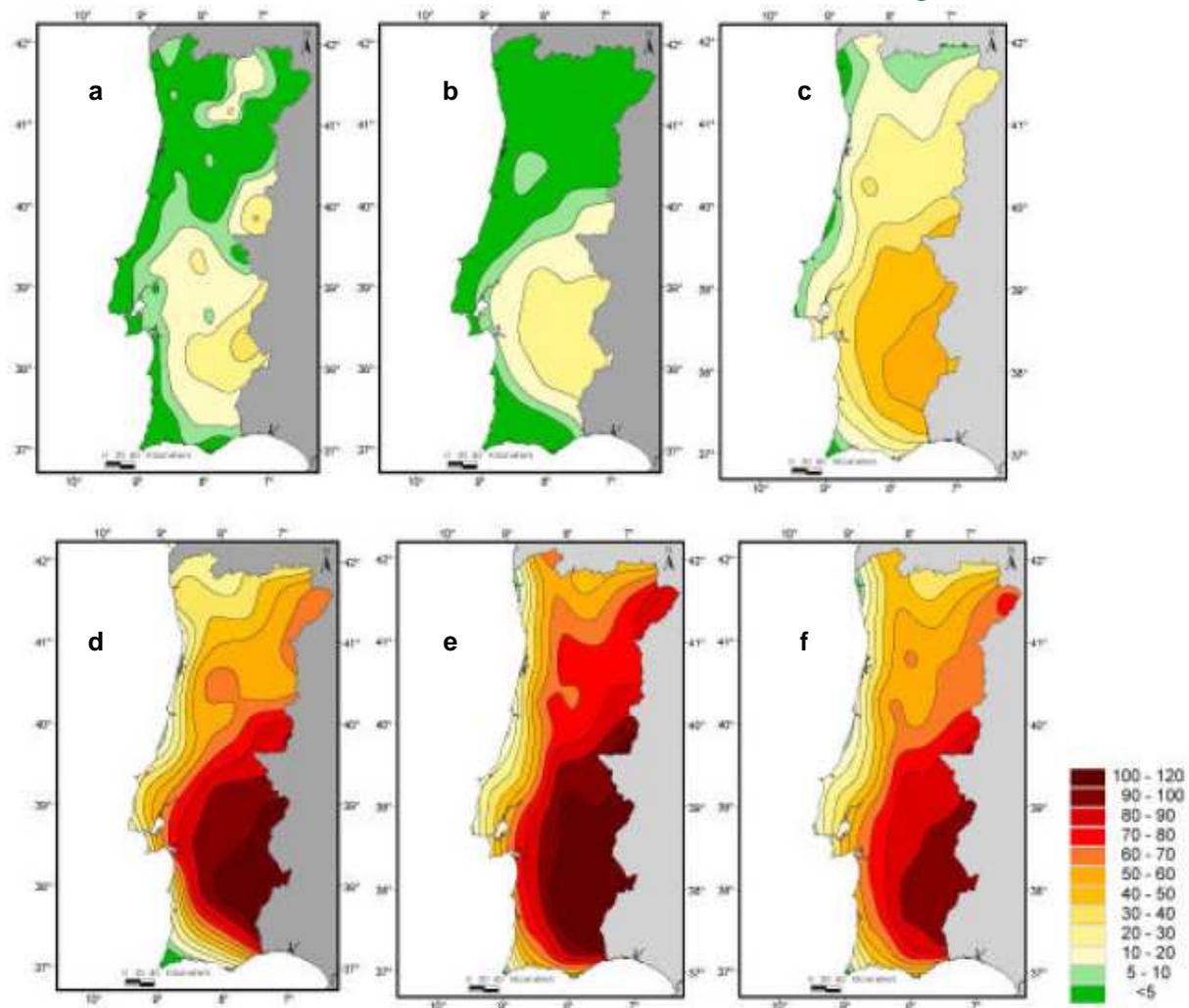


Fig. 0.66 – Número de “dias muito quentes” por ano (temperatura superior a 35°C): (a) observações 1961-1990; (b) controlo HadRM2; (c) controlo HadRM3; (d) cenário IS92a HadRM2; (e) cenário A2 HadRM3; (f) cenário B2 HadRM3.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

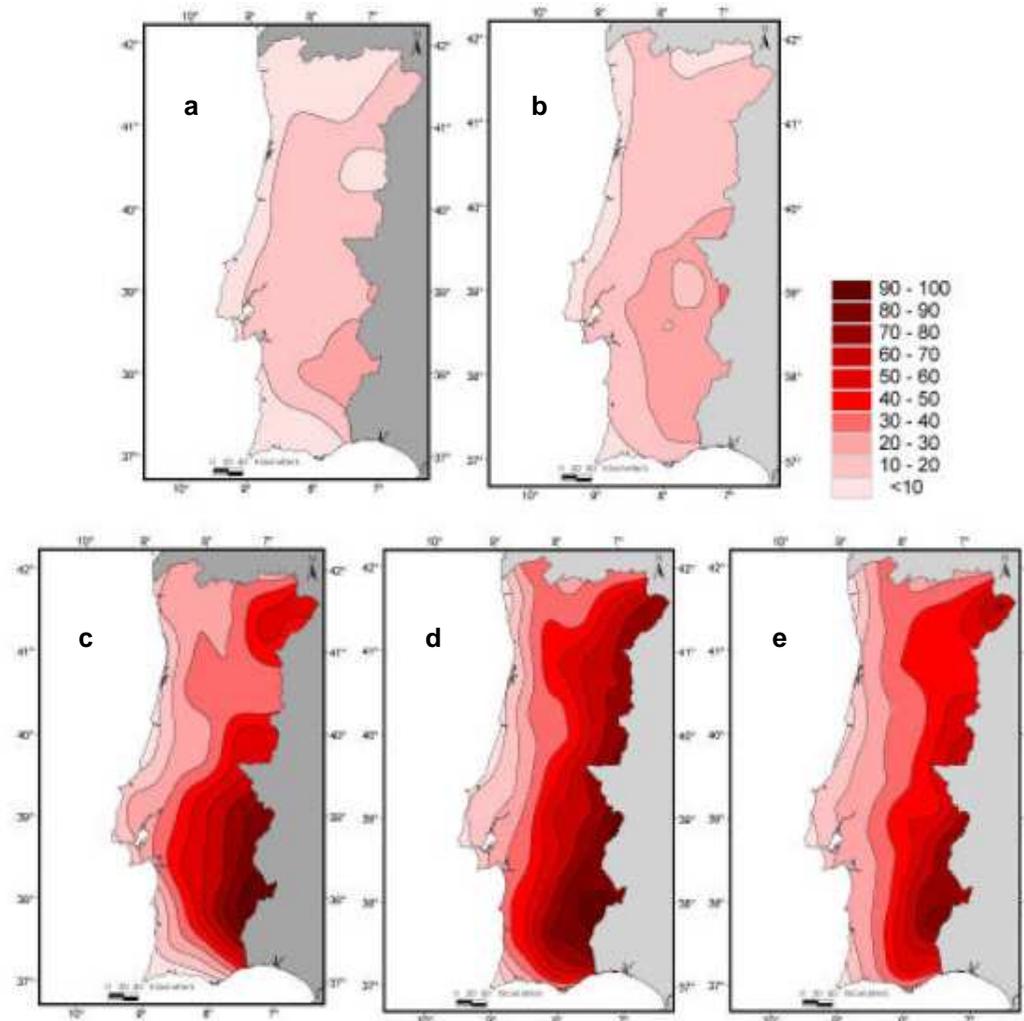


Fig. 0.67 – Número máximo de dias consecutivos com temperatura máxima superior a 35°C (dias muito quentes): (a) controlo HadRM2; (b) controlo HadRM3; (c) cenário IS92a HadRM2; (d) cenário A2 HadRM3; (e) cenário B2 HadRM3.

CLIMA, METEOROLOGIA E INDEXAÇÃO

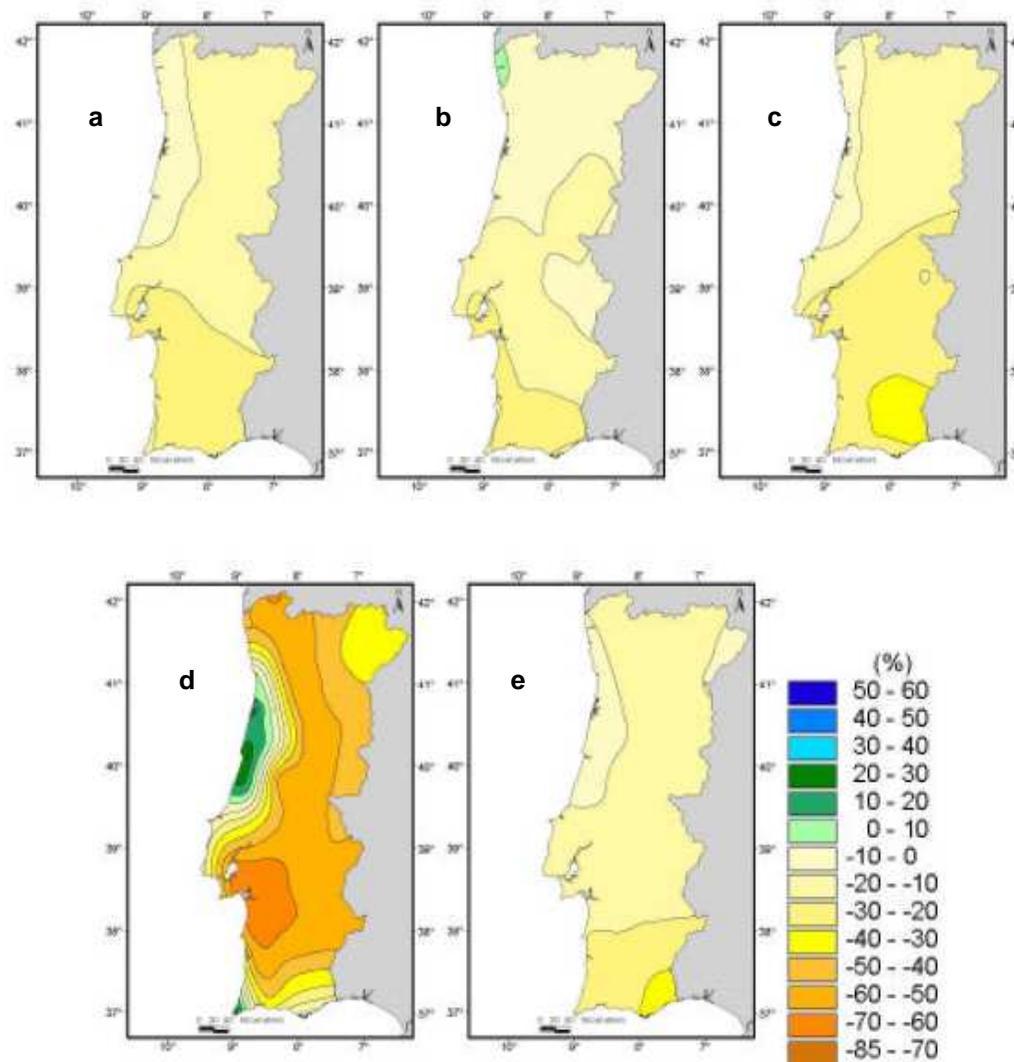
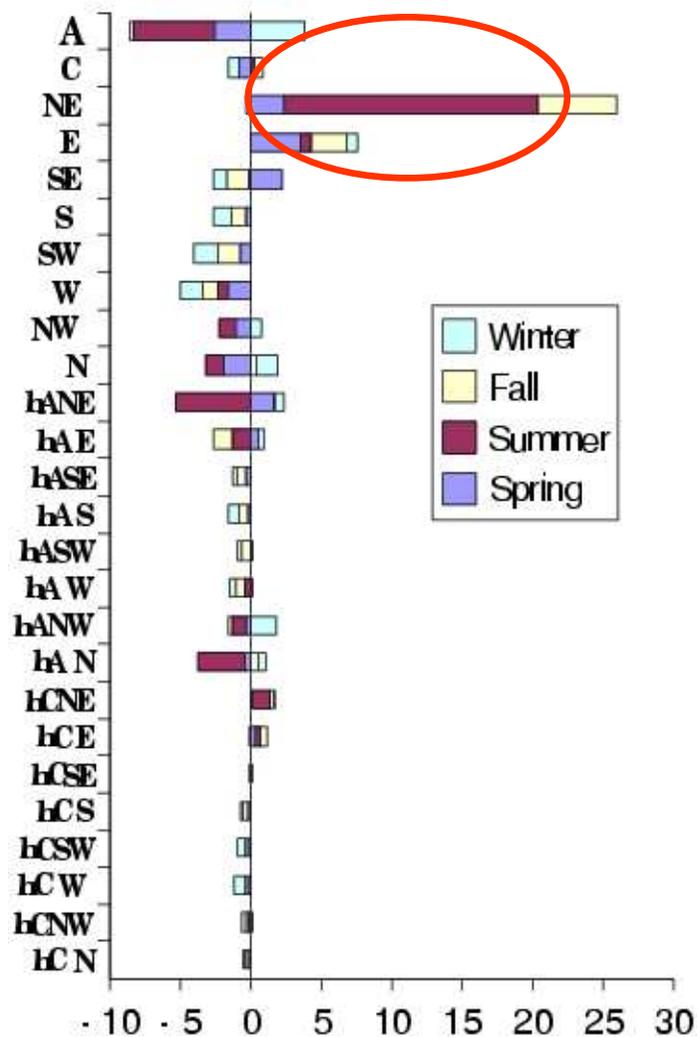
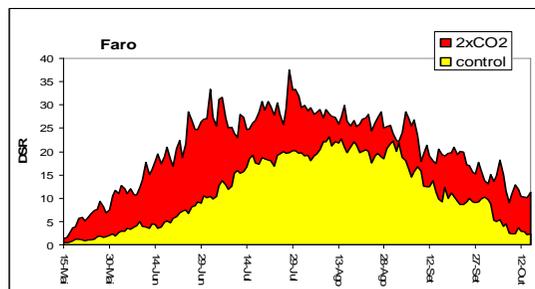
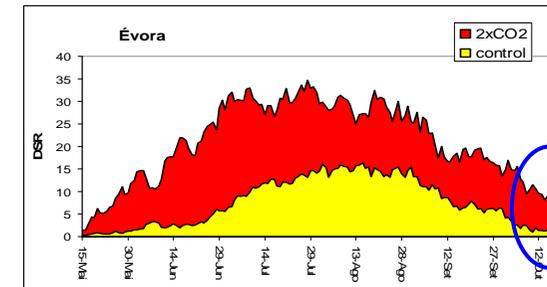
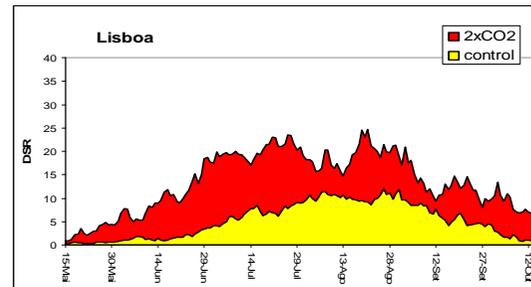
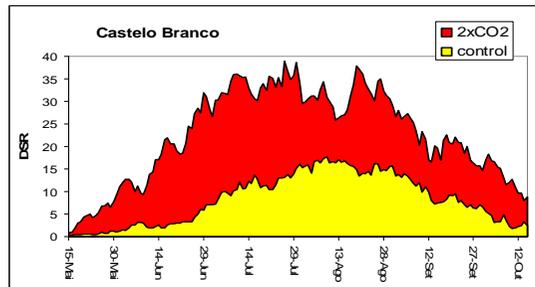
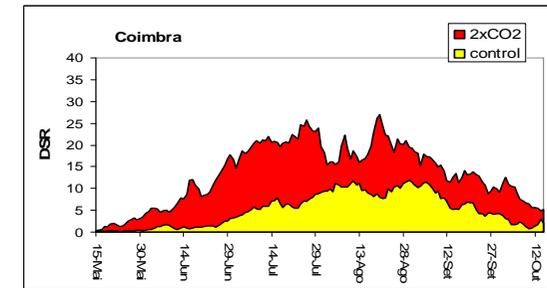
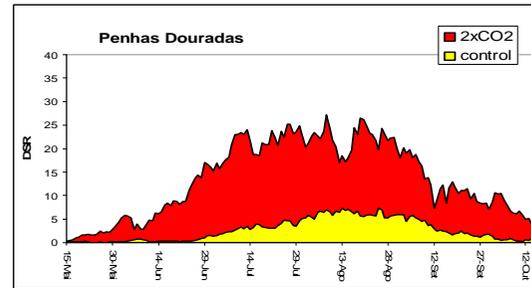
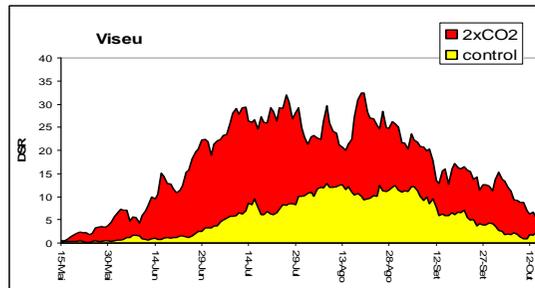
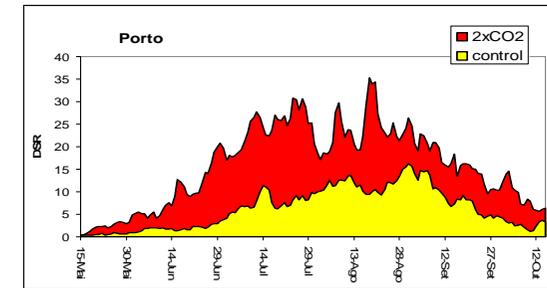
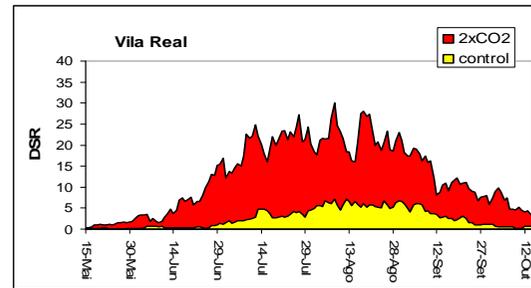
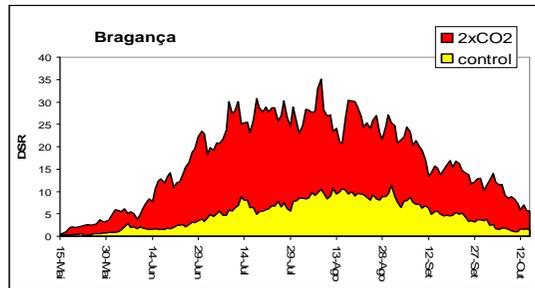


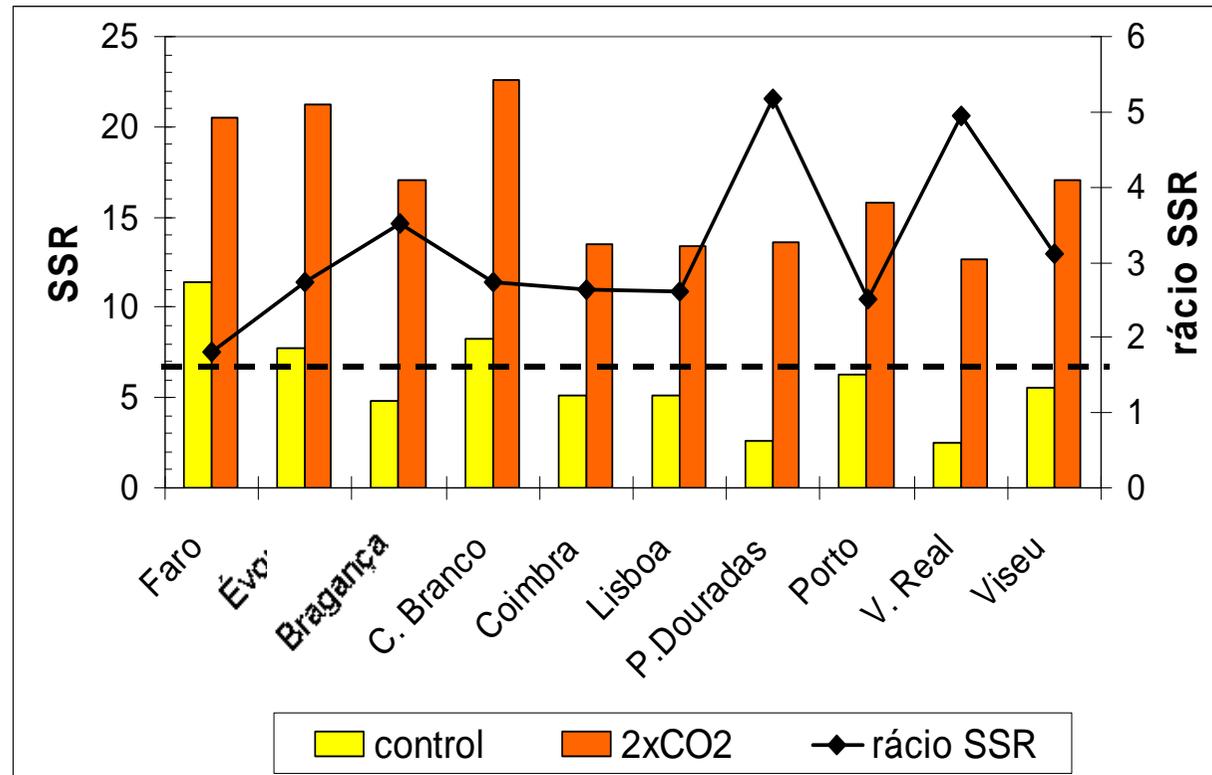
Fig. 0.74 – Anomalia da precipitação no modelo HadRM3 (B2) em percentagem da simulação de controlo: (a) Anual; (b) Inverno; (c) Primavera; (d) Verão; (e) Outono.



Diferença entre as frequências dos diferentes tipos de circulação no cenário H3GGa1 e no cenário HADCM3 de controle, para o Inverno, Outono, Verão e Primavera (Miranda et al., 2002).



Série cronológica (15 de Maio – 15 de Outubro) do indicador de severidade diária (DSR), sob condições climatológicas de controle e futuras, em 10 estações meteorológicas de Portugal Continental.



Indicador de severidade sazonal (SSR) e rácio de SSR ($SSR_{2xCO_2} / SSR_{control}$) para 10 estações meteorológicas em Portugal Continental (Pereira et al., 2002).