

Universidade de Évora

Errata

**EXTREMOS METEOROLÓGICOS EM
PORTUGAL CONTINENTAL DEDUZIDOS
DE UM MODELO REGIONAL DE CLIMA**

*Dissertação submetida à Universidade de Évora para a obtenção do grau de Mestre em
Clima e Ambiente Atmosférico, área de Meteorologia, Clima e Alterações Climáticas*

Dissertação do mestrado sob a orientação do Professor Doutor:

João Corte Real

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri

Isilda Augusta Luís Pereira da Cunha Menezes

ÉVORA – 2005

Universidade de Évora

Errata

**EXTREMOS METEOROLÓGICOS EM
PORTUGAL CONTINENTAL DEDUZIDOS
DE UM MODELO REGIONAL DE CLIMA**

*Dissertação submetida à Universidade de Évora para a obtenção do grau de Mestre em
Clima e Ambiente Atmosférico, área de Meteorologia, Clima e Alterações Climáticas*

Dissertação do mestrado sob a orientação do Professor Doutor:

João Corte Real



152569

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri

Isilda Augusta Luís Pereira da Cunha Menezes

ÉVORA – 2005

Agradecimentos



Ao professor João Corte Real, pelo convite para fazer parte do projecto MICE (Modeling Impacts of Climate Extremes) por intermédio do qual desenvolvi este trabalho, pela sua orientação no desenvolvimento do mesmo, e pela sua grande contribuição para o meu amadurecimento profissional.

Às minhas colegas do grupo de Meteorologia/ Climatologia Susana Mendes e Rita Durão, pelo apoio concedido.

Resumo

Nove pontos da rede do HadRM3 são seleccionados, distribuídos sobre Portugal, cada um circundado por um certo número de estações climatológicas; a simulação do modelo é comparada com o valor obtido da média dos valores observados das estações suas vizinhas, para cada dia do calendário mensal. A comparação é efectuada no período de referência 1961-90, para cada nó, em termos de parâmetros físicos descrevendo extremos de temperatura, precipitação e vento, relacionados a percentis de alguns elementos de clima e índices de extremos relativos a limiares fixos. São usadas técnicas Exploratórias de Análise de Dados, Distribuições Generalizadas de Valores Extremos e Distribuições Generalizadas de Pareto para valores acima de um limiar, nos procedimentos de comparação/validação. É também feita uma avaliação de variações esperadas na frequência e intensidade dos extremos sobre Portugal continental para a simulação do modelo HadRM3 relativo a 2071-100, sobre o relatório de emissões dos cenários (SRES) A2a, B2a..

Abstract

Meteorological Extremes Over continental Portugal Deduced From a Regional Climate Model

Nine model grids are selected for the HadRM3 grids covering continental Portugal, distributed over the Portuguese territory, each one being surrounded by a certain number of climatologically stations; model output is compared with the mean output calculated from observational data, for each calendar month. Comparison is performed in the reference period 1961-90, for each grid, in terms of physical parameters describing extremes of temperature, rainfall and wind, of indices of extremes related to percentiles of the same climatic elements and indices of extremes related to fixed thresholds. Exploratory Data Analysis techniques, Generalized Extreme Values Distribution and Generalized Pareto Distribution for peak over the threshold values, are used in the comparison/validation procedures. An assessment of expected changes in the frequency and intensity of extremes over continental Portugal is also made, from HadRM3 output relative to 2071-100, under IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES) A2a and B2a.

Sumário

Capítulo 1. Introdução	1
1.1 Modelação estatística com base em cenários socioeconómicos.....	1
Capítulo 2. Revisão de literatura	9
2.1 Distribuição Generalizada de Valores Extremos	9
2.1.1 Estimação dos parâmetros da Distribuição GEV.....	14
2.2 Testes aplicados.....	20
2.3 Distribuição Generalizada de Pareto	21
2.3.1 Selecção do limiar.....	23
2.3.2 Estimativas dos parâmetros de máxima verosimilhança	25
Capítulo 3. Dados e Metodologia	26
3.1 Dados modelados.....	26
3.2 Dados observacionais.....	26
3.3 Metodologia	28
Capítulo 4. Análise	32
4.1 Validação usando técnicas de análise exploratória de dados.....	32
4.2 Comparação usando técnicas de análise exploratória de dados	33
4.3 Validação/comparação dos valores acima de limiares críticos	43
4.4 Validação/comparação dos valores acima/abaixo de percentis críticos	44
4.5 Validação/comparação dos parâmetros de forma da Distribuição Generalizada de Valor Extremo.....	46
4.6 Quantificação do parâmetro de forma	50
4.7 Validação/comparação de limiares e excedências no estudo da Distribuição Generalizada de Pareto.....	53
Capítulo 5. Conclusões	60
5.1 Conclusão do estudo efectuado	60

Referências	62
Artigos.....	62
Páginas consultadas	63
Livros	63

Lista de Figuras

- Fig. 1)** Disposição dos 9 nós escolhidos dos 38 nós da malha do modelo HadRM3 que Cobrem Portugal Continental..... 27
- Fig. 2)** Distribuição do parâmetro de forma em Portugal continental, para amostras de máximos anuais das temperaturas máximas diárias no mês de Julho. Valores na legenda, negativos correspondem a distribuições de Weibull, positivos a distribuições de Fréchet e o valor correspondente a zero à distribuição de Gumbel. Parâmetros de forma da amostra, a) de valores Observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a. 47
- Fig. 3)** Distribuição do parâmetro de forma em Portugal continental, para amostras de mínimos anuais das temperaturas mínima diárias no mês de Janeiro. Valores na legenda, negativos correspondem a distribuições de Weibull, positivos a distribuições de Fréchet e o valor correspondente a zero à distribuição de Gumbel. Parâmetros de forma da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a. 48
- Fig. 4)** Distribuição do parâmetro de forma em Portugal continental, para amostras de máximos anuais da precipitação diária durante o período sazonal compreendido entre os meses de Outubro a Abril. Valores na legenda, negativos correspondem a distribuições de Weibull, positivos a distribuições de Fréchet e o valor correspondente a zero à distribuição de Gumbel. Parâmetros de forma da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a. 49
- Fig. 5)** Distribuição dos limiares em Portugal continental, para a amostra de temperaturas máximas diárias no Verão. Limiares da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a. 54

Fig. 6) *Distribuição das excedências em Portugal continental, para a amostra de temperaturas máximas diárias no Verão. Excedências da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a. 55*

Fig. 7) *Distribuição dos limiares em Portugal continental, para a amostra de temperaturas mínimas diárias no Inverno. Limiares da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a. 56*

Fig. 8) *Distribuição das excedências em Portugal continental, para a amostra de temperaturas mínimas diárias no Inverno. Excedências da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a. 57*

Fig. 9) *Distribuição dos limiares em Portugal continental, para a amostra de precipitação diária no período sazonal, relativo aos meses Outubro a Abril. Limiares da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a. 58*

Fig. 10) *Distribuição das excedências em Portugal continental, para a amostra de precipitação diária no período sazonal, relativo aos meses Outubro a Abril. Excedências da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a. 59*

Lista de Tabelas

- Tab. 1)** Portugal continental dividido em 4 regiões. Designação dos 9 nós do modelo HadRM3 e das estações Climatológicas que lhe são vizinhas, a vermelho a designação do nó. 27
- Tab. 2)** Validação da simulação de referência do modelo HadRM3 com os valores observados, para Portugal continental, nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro que representam as estações do ano, Inverno, Primavera, Verão e Outono. 32
- Tab. 3)** Comparação da simulação do período de referência (ref) com as simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Outubro na estação do Outono. 35
- Tab. 4)** Comparação da simulação do período de referência (ref) com as simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Janeiro na estação do Inverno. 36
- Tab. 5)** Comparação da simulação do período de referência (ref) com as simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Abril na estação da Primavera. 37
- Tab. 6)** Comparação da simulação do período de referência (ref) com as simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Julho na estação do Verão. 38
- Tab. 7)** Comparação da variabilidade (desvio padrão) da simulação do período de referência (ref) com a variabilidade das simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Outubro na estação do Outono. 39
- Tab. 8)** Comparação da variabilidade (desvio padrão) da simulação do período de referência (ref) com a variabilidade das simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Janeiro na estação do Inverno. 40
- Tab. 9)** Comparação da variabilidade (desvio padrão) da simulação do período de referência (ref) com a variabilidade das simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Abril na estação da Primavera. 41

Tab. 10) <i>Comparação da variabilidade (desvio padrão) da simulação do período de referência (ref) com a variabilidade das simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Julho na estação do Verão.</i>	42
Tab. 11) <i>Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os limiares fixos correspondente a cada índice descrito, para as altas temperaturas, relativos à simulação de referência do HadRM3 (ref), aos valores observados (Estação) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.</i>	43
Tab. 12) <i>Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os limiares fixos correspondente a cada índice descrito, para as baixas temperaturas, relativos à simulação de referência do HadRM3 (ref) aos valores observados (Estação) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.</i>	44
Tab. 13) <i>Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os limiares fixos correspondentes a cada índice descrito, para a precipitação, relativos à simulação de referência do HadRM3 (ref), aos valores observados (Estação) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.</i>	44
Tab. 14) <i>Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os limiares fixos, dos índice descrito, para a velocidade do vento, relativos à simulação de referência (ref), aos valores observados (Estação) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.</i>	44
Tab. 15) <i>Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os valores de percentis, correspondentes a cada índice descrito, para as altas temperaturas, para Portugal Continental, relativos à simulação de referência do HadRM3 (ref), aos valores observados (Estação) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.....</i>	45
Tab. 16) <i>Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os valores de percentis, correspondentes a cada índice descrito, para as baixas temperaturas, para Portugal Continental, relativos à simulação de referência do HadRM3 (ref), aos valores observados (Estação) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.</i>	45
Tab. 17) <i>Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os valores de percentis, correspondentes a cada índice descrito, para a precipitação, para Portugal Continental,</i>	

relativos à simulação de referência do HadRM3 (ref), aos valores observados (Estação) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a..... 46

Tab. 18) *Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os valores de percentis, correspondentes a cada índice descrito, para a velocidade do vento, para Portugal Continental, relativos à simulação de referência do HadRM3 (ref), aos valores observados (Estação) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a..... 46*

Tab. 19) *Resultados do teste de Anderson Darling, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de máximos anuais das temperaturas máximas diárias no mês de Julho para a simulação de referência (Modelo), para o observado (Estação) e para as simulações futuras (A2a e B2a). A verde distribuições de Weibull e a amarelo de Gumbel. 50*

Tab. 20) *Resultados do teste de Anderson Darling, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de mínimos anuais das temperaturas mínimas diárias no mês de Janeiro para a simulação de referência (Modelo), para o observado (Estação) e para as simulações futuras (A2a e B2a). A verde distribuições de Weibull, a rosa de Fréchet e a amarelo de Gumbel. 51*

Tab. 21) *Resultados do teste de Anderson Darling, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de máximos anuais da precipitação diária sazonal, relativa aos meses de Outubro a Abril, para a simulação de referência (Modelo), para o observado (Estação) e para as simulações futuras (A2a e B2a). A verde distribuições de Weibull, a rosa de Fréchet e a amarelo de Gumbel. 51*

Tab. 22) *Resultados do teste de Kolmogorov Smirnov, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de máximos anuais das temperaturas máximas diárias no mês de Julho para a simulação de referência (Modelo ref), para o observado (Estação) e para as simulações futuras (Futuro A2a e B2a). A verde Distribuições de Weibull e a amarelo de Gumbel. 52*

Tab. 23) *Resultados do teste de Kolmogorov Smirnov, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de mínimos anuais das temperaturas mínimas diárias no mês de Janeiro para a simulação de referência (Modelo ref), para o observado (Estação) e para as simulações futuras (Futuro A2a e B2a). A verde Distribuições de Weibull, a rosa de Fréchet e a amarelo de Gumbel. 52*

Tab. 24) Resultados do teste de Kolmogorov Smirnov, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de máximos anuais da precipitação diária sazonal, relativa aos meses de Outubro a Abril, para a simulação de referência (Modelo ref), para o observado (Estação) e para as simulações futuras (Futuro A2a e B2a). A verde Distribuições de Weibull, a rosa de Fréchet e a amarelo de Gumbel. 53

Capítulo 1. Introdução

1.1 Modelação estatística com base em cenários socioeconómicos

Os cenários de emissões são a componente central de qualquer avaliação de variações climáticas. As emissões de gases com efeito de estufa e de dióxido de enxofre são as contribuições para a determinação dos padrões de clima futuros com modelos de clima simples, bem como, com modelos de circulação geral complexos (GCMs). Variações climáticas possíveis, juntamente com o forçamento com gases de efeito de estufa dirigidos por emissões futuras, devidas modelos demográficos, condições de desenvolvimento económico e ambiental, são a base para avaliar a vulnerabilidade, possíveis impactos adversos e estratégias de adaptação e políticas que permite contrariar os efeitos da variação climática.

Os cenários são imagens do futuro, ou alternativas futuras. Não são previsões nem prognósticos. Cada cenário é uma imagem alternativa de como o futuro se pode desenvolver. Eles melhoram a nossa compreensão de como o sistema terrestre se comporta, envolve e interactiva.

São ferramentas úteis para a avaliação científica, aprendizagem sobre o comportamento de sistemas complexos.

Futuros níveis de emissões de gases de estufa são um produto muito complexo de sistemas dinâmicos mal compreendidos, guiados pelo crescimento populacional, desenvolvimento socio-económico e progresso tecnológico, entre outros, deste modo, levando a fazer projecções de longo prazo acerca de emissões virtualmente impossíveis. No entanto, decisões políticas, podem ter profundos impactos climáticos de longo prazo. Consequentemente, os dirigentes políticos necessitam de um relatório compreensível acerca de possíveis emissões de gases de estufa, determinada das incertezas acerca de cenários futuros e da compreensão dos cientistas sobre o forçamento devido a forças físicas induzidas por estas emissões. Os cenários são uma ferramenta apropriada para sumariar a compreensão devido a estudos científicos e as incertezas por se intuir algo que poderá não acontecer. Cenários de emissões de gases de estufa são derivadas da nossa compreensão da história e da situação corrente.

Os cenários SRES são representados por “enredos narrativos” que descrevem as relações entre as forças motrizes de emissão e a evolução delas através da adição de contextos para a quantificação dos enredos. Cada enredo representa diferente desenvolvimento demográfico, social, económico, tecnológico e ambiental. Os cenários SRES podem ser vistos como uma ferramenta de junção que integra as fontes que induzem o forçamento atmosférico, valores qualitativos ou a história à cerca do futuro, com as formulações quantitativas

correspondentes, que são o resultado das diferentes aproximações de projecções de aquecimento global. Os cenários baseados no mesmo enredo narrativo constituem a família dos cenários.

Cenários desenvolvidos para um período de cem anos são um campo relativamente novo que nada tem a ver com as largas incertezas científicas e insuficiência de dados. Por exemplo, no século decorrente (séc. 21) são esperadas descontinuidades tecnológicas, a possibilidade de maiores trocas de valores sociais e no balanço do poder geopolítico que poderão trazer uma maior incerteza sobre o futuro mas que por isso não são a razão para não se prospectarem cenários futuros. O estudo das tendências do passado sobre um longo período é impedido pelo facto da maior parte da base de dados estar incompleta se recuarmos mais de 70 anos. Dadas estas falhas nos nossos dados, os métodos de investigação e a compreensão científica, destes tempos, são feitos através de cenários. Os cenários são uma ferramenta de integração na avaliação das variações climáticas e permite uma regra para intuição, análise, e síntese. O desenvolvimento destes cenários está a par com o desenvolvimento recente dos computadores e continuo aperfeiçoamento dos modelos globais de circulação geral.

Projecções de população global recentes são geralmente mais baixas do que as dos cenários IS92¹. Os novos cenários consideram o período 1990-2100 com diferentes projecções de populações, entre os 7,0 e os 15,1 biliões de pessoas, que correspondem a desenvolvimentos sócio-económicos da ordem de 164.80 – 460.20 triliões de euros (valor médio do PIB). A família de cenários B2 é baseada na projecção de população de 10,4 biliões em 2100. A família de cenários A2 é baseada num cenário de crescimento populacional elevado, de 15 biliões de pessoas em 2100 e assume um significativo declínio na fertilidade para a maior parte das regiões.

Na maior parte dos cenários, as áreas de floresta global continuam a decrescer durante décadas, primeiramente devido ao aumento de população e ao seu uso progressivo para a agricultura. Esta tendência corrente é invertida nos cenários B2a, com o grande aumento das áreas florestadas quando comparadas com as de 1990.

Os cenários SRES cobrem uma escala mais ampla de estruturas produtoras de energia que o cenário IS92, assim como cobrem a maior parte dos gases com efeito atmosférico de estufa, gases industriais e as emissões de enxofre.

Neste trabalho desenvolveu-se o estudo dos dois cenários SRES, A2a e B2a, através da análise estatística de extremos na tentativa de se detectar nas diversas regiões de Portugal a possibilidade de maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos das variáveis físicas temperatura, precipitação e vento.

Variações na variabilidade climática, extremos do tempo e acontecimentos climáticos têm tido uma maior atenção nos últimos anos. A compreensão das variações na variabilidade climática e de extremos climáticos é feita com dificuldade entre variações na média, e a

¹ O IPCC recentemente concluiu o *Special Report on Emissions Scenarios (SRES)* para substituir o conjunto dos seis cenários IS92 desenvolvidos pelo IPCC em 1992

variância. Estas interacções entre a média e a variância variam de variável para variável dependendo da sua distribuição estatística. Por exemplo, a distribuição de temperaturas, a maior parte das vezes, assemelha-se a uma distribuição normal mas em que há necessidade de normalizar a variável o que implica variações na média e na variância. Nestas distribuições, um aumento da média conduz a um novo recorde de altas temperaturas, mas a variação na média, não implica a variabilidade global do elemento climático. Um aumento de variabilidade sem variação da média implica um aumento na probabilidade de ambos os extremos, quente e frio, bem como o valor absoluto dos extremos. Aumento em ambos, media e variabilidade, também é possível, uma vez que afecta a probabilidade dos extremos de máximos e mínimos, com maiores ocorrências de máximos, com temperaturas extremas elevadas e com menores ocorrências de mínimos. Em outras combinações de variação é que ambas, media e variabilidade, conduzem a diferentes resultados. Incertezas de variação da média confundem interpretações de variações na variância desde que toda a estatística da variância seja dependente do nível de referência, isto é, da média. Para variáveis que não são aproximadas pela distribuição normal, como a precipitação a situação ainda é mais complexa, especialmente para climas secos. Para a precipitação, por exemplo, variações na média total da precipitação pode ser acompanhada por outras variações, tais como frequência de precipitação ou forma ou distribuições incluindo esta variabilidade. Todas estas variações podem afectar em vários aspectos os extremos de precipitação incluindo a intensidade de precipitação.

Os extremos aparecem devido à variação climática. Variações na frequência de muitos extremos (aumento ou decréscimo), podem ser surpreendentemente grandes e vão mascarar a média climática sendo a maior parte das vezes o aspecto mais sensível da variação climática do ecossistema e da resposta social. Além disso, variações de extremos, são a maior parte das vezes mais sensíveis às monitorizações práticas de climas inospitais, fazendo avaliações das variações de mais extremos mais exactas do que a avaliação das variações da média.

A análise do valor extremo é um ramo da probabilidade e estatística que é usado para inferir o tamanho e a frequência de eventos extremos. O paradigma básico usado, varia com a aplicação mas geralmente tem os seguintes componentes:

- Colecção de dados.
- Identificação de uma família satisfatória de distribuição de probabilidades, uma das quais é usada para representar a distribuição dos extremos observados.
- Estimação dos parâmetros do modelo seleccionado.
- Estimação do valor de retorno para períodos de comprimento fixo. O valor de retorno é o limiar que é excedido, em média, uma vez por período de retorno.

A colecção de dados, tipicamente, é o objecto de estudo na análise de valor extremo e são colecções de máximos anuais de parâmetros físicos que são observados diariamente, como a temperatura, precipitação e velocidade do vento. As observações são feitas em duas escalas de tempo.

- ▶ As observações são tomadas em escalas de tempo pequenas sobre um intervalo de tempo fixo para se obter um valor extremo. Por exemplo, podem consistir de acumulações de precipitação diária por ano. O valor máximo de 365 observações é retido, constituindo um extremo de precipitação diária acumulada nesse ano, enquanto que o resto das observações serve apenas para determinar o valor extremo.

É importante compreender que o extremo é uma realização de uma variável aleatória, nomeadamente de ordem estatística n de uma amostra de tamanho n , isto é, é um conjunto de valores máximos proveniente de n séries, cada valor máximo de cada série pertencente a uma mesma distribuição, que no seu conjunto continuam a pertencer a essa mesma distribuição. Assim, o valor extremo numa amostra subsequente do mesmo tamanho é outra realização de uma variável aleatória.

- ▶ Este processo é repetido em vários intervalos de forma a obter o objecto da análise de valor extremo: uma amostra consiste apenas no valor extremo de cada intervalo. No exemplo anterior, se os valores de precipitação diária acumulada constituem uma série relativa a um período em cada ano, durante 50 anos, então a amostra de valores extremos analisada é de tamanho 50, desde que cada ano se tenha um máximo.

A análise de valores extremos requer que as séries sejam estacionárias e ergódicas. Isto está implícito que as séries de n extremos sejam n realizações de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas.

O comportamento da amostra de extremos é quase sempre representado por um modelo paramétrico, a distribuição de probabilidade seleccionada por esta faculdade, indica as características do valor extremo razoavelmente bem. Em 1943 Gnedenko mostrou as condições necessárias e suficientes para a existência de distribuições assintóticas de valores extremos e determinou que as caudas dessas distribuições podem ser modeladas por algum tipo de distribuições contínuas. Se, se sabe a que distribuição a variável aleatória observada na escala de tempo considerada pertence, pode ser usada para seleccionar a distribuição de valor extremo. Posteriormente, devido ao problema da identificação de qual a distribuição mais adequada para representar uma determinada amostra de valores extremos, sugeriu-se que se usassem os parâmetros da distribuição generalizada de valores

extremos, calculados a partir dos valores da própria amostra de extremos, para a identificação da distribuição de ajuste, ou seja o modelo satisfatório.

Argumentos assintóticos são a maior parte das vezes uma importante parte da selecção da distribuição de valor extremo. Sob condições gerais pode ser mostrado que, em amostras de tamanho n , a distribuição de valor extremo converge, com $n \rightarrow \infty$, para um dos três modelos: distribuição de Gumbel (ou Pearson tipo I, ou Valor Extremo tipo I), distribuição de Fréchet (ou Pearson tipo II ou Valor Extremo tipo II) e distribuição de Weibull (ou Pearson tipo III ou Valor Extremo tipo III). A taxa de convergência é fortemente determinada pela cauda superior (por vezes inferior) da distribuição da variável (exemplo: precipitação) de escala de tempo considerada que gera o extremo. Se a distribuição de valor extremo converge, por exemplo, para Distribuição Gumbel, então podemos dizer que a variável de escala de tempo considerada cai no domínio de uma distribuição de Gumbel.

Ambas a distribuição exponencial e a distribuição normal caiem no domínio de uma distribuição de Valor Extremo tipo I. No entanto, a distribuição exponencial de amostras grandes, de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas, são mais próximas à distribuição de Valor extremo tipo I do que a distribuição normal de uma amostra de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas.

Infelizmente, a distribuição assintótica de Valores Extremos nem sempre se ajusta bem aos extremos observados. Isto pode ocorrer por uma variedade de razões, a menor das quais é os dados de clima não obedecerem ao ciclo de estacionaridade devido a erros de medições em aparelhos. Consideremos um exemplo: o máximo anual de precipitação diária, é formalmente o máximo de 365 observações. O efeito do ciclo anual pode ser tal que apenas um pequeno número de observações tem chance de alcançar o status de máximo anual e que estão longe de pertencerem a uma população de extremos.

Por causa da distribuição assintótica nem sempre ser obtida, outras distribuições como a Distribuição Generalizada de Valores Extremos constituída por a distribuição de Weibull, de Fréchet, de Gumbel ou a Distribuição Generalizada de Pareto ou de Wakely, são usadas na análise de valor extremo.

O outro método para modelo de identificação confia em estimações de assimetria e kurtosis de distribuições de valor extremo, que são calculadas de amostras de extremos. O par (assimetria, kurtosis) é traçado em gráficos com kurtosis como função da assimetria para as várias famílias de distribuições chamadas normalmente de curvas de Pearson. O modelo é identificado pela proximidade dos pontos traçados à curva da distribuição (apenas há uma curva de Pearson para cada distribuição).

Uma identificação com as curvas de Pearson é difícil e muitas vezes sem sucesso porque as estimativas são sujeitas à variabilidade da amostra. Estimativas muitas vezes no fim das curvas de Pearson, ocupam pontos (assimetria, kurtosis) no plano que não são ajustados pelos parâmetros das conhecidas famílias de distribuições.

Uma melhor alternativa é o uso dos momentos-L em combinação com as curvas de Pearson para o modelo de identificação. Os momentos-L são sujeitos a menores variações da

amostra, ou seja, são mais robustos que os momentos convencionais e discriminam melhor os modelos.

Uma vez o modelo (isto é, distribuições de valor extremo) seleccionado, o próximo passo é a análise do ajuste para a distribuição de valor extremo escolhida para a amostra de extremos. O ajuste significa estimação dos parâmetros desconhecidos da distribuição de valor extremo escolhida.

Alguns métodos podem ser usados para a estimação destes parâmetros. Estes métodos podem produzir diferentes resultados para pequenas amostras de extremos, ainda que os seus resultados se tornem assintoticamente idênticos, quando o número de extremos observados se torna grande.

A conveniência teórica de um método para o outro tem sido muito debatida. No entanto estas discussões são de muito pouco uso quando as decisões dependem da exactidão dos resultados.

Os métodos mais usados para o ajuste são:

- ▶ o método dos momentos
- ▶ o método da máxima verosimilhança
- ▶ o método da probabilidade dos momentos pesados
- ▶ o método dos momentos-L

O método de máxima verosimilhança é preferido por uma série de boas razões. Primeiro o método de máxima verosimilhança provê um modo sistemático de determinar os estimadores. Segundo, tem propriedades assintóticas agradáveis. Pode mostrar-se que é consistente e assintoticamente normal debaixo de condições gerais. A normalidade assintótica pode ser usada para construir regiões de confiança assintóticas. Por outro lado, o método dos momentos-L é mais robusto. Este método é menos afectado pelos erros observacionais ocasionais, ou pelos erros de transcrição (como os erros de ponto decimal extraviado) do que, outros métodos de ajuste. O método das probabilidades dos momentos pesados está relacionado com método dos momentos-L. O método ordinário dos momentos, é muito frequentemente usado, por causa da sua simplicidade e considerações de convenção.

Por outro lado no caso em que queremos estudar a Distribuição Generalizada de Valores Extremos o ajuste é feito através dos próprios valores extremos, através da imposição de um parâmetro de forma inicial, à custa do qual e dos valores médio e desvio padrão da amostra se determinam os parâmetros iniciais de localização e escala, que são derivados do primeiro e segundo momentos da distribuição e que por meio de processos iterativos se determinam os parâmetros finais, que são usados para a determinação da probabilidade do extremo. A distribuição obtida é apresentada num gráfico de probabilidades que consiste:

$$\left\{ \left(F(x_{(i)}) , \frac{i}{n+1} \right) \mid i=1, \dots, n \right\} \quad \text{com} \quad x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq x_{(3)} \leq \dots \leq x_{(n)}$$

em que F é a distribuição, $x_{(i)}$ os valores da amostra e n o tamanho da amostra. Os pontos devem estar próximo da diagonal unitária. Simultaneamente da mesma forma se apresenta num gráfico de quantil que consiste nos pontos:

$$\left\{ \left(\left(F\left(\frac{i}{n+1}\right) \right)^{-1} , x_{(i)} \right) \mid i=1, \dots, n \right\} \quad \text{com} \quad x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq x_{(3)} \leq \dots \leq x_{(n)}$$

que também devem estar próximos à diagonal unitária. Quando este ajuste é impreciso para as distribuições de Weibull ou Fréchet então faz-se novo ajuste mas agora considerando o parâmetro de forma inicial como sendo zero e os momentos os considerados para uma distribuição de Gumbel.

O último passo na análise de valores extremos é usualmente o calculo do “nível de retorno” que não foi usado neste trabalho, para períodos pré-fixos (isto é, 10, 50, 100 anos). Estes valores são limiares, que de acordo com o modelo ajustado, excedem em média, uma vez o período de retorno. Neste caso estes períodos referem-se a estudos em infraestruturas sobre a resistência do material, por exemplo, a capacidade de uma barragem aguentar uma subida elevada do nível de água fluvial.

Valores de retorno são simplesmente os quantis superiores de uma distribuição de valores extremos ajustada.

Outra aproximação à análise de valor extremo é a aproximação chamada picos acima de um limiar. Em contraste com a análise anual (ou outro período) máxima, a aproximação de picos acima de um limiar aproxima conjuntos de altos limiares e analisa as suas excedências. A atracção desta aproximação é que pode ser possível extrair informações adicionais à cerca dos extremos de um parâmetro de clima por um conjunto de limiares e desta forma mais do que um limiar atravessando o ano observado. Quando se aplica esta aproximação tem de se ter cuidado à cerca do local do limiar e ter em conta os efeitos do ciclo de estacionaridade.

Neste trabalho usou-se esta técnica estatística para ajustar as variáveis físicas discriminadas em cima à Distribuição Generalizada de Valor Extremo, nomeadamente, às distribuições de Gumbel, Fréchet e Weibull. Foi usada igualmente a Distribuição Generalizada de Pareto para avaliar limiares, e excessos que ultrapassam estes limiares. No capítulo 2, apresento um resumo de como se desenvolve esta teoria e de como se determina o parâmetro de forma que define as distribuições a que pertencem as amostras das variáveis físicas estudadas; este parâmetro que define a cauda da distribuição e a quantifica, é mapeado e usado neste estudo. As funções usadas no software SPULS para a análise das

distribuições são as descritas por Coles. Foram usadas outras técnicas, como a determinação de percentis e limiares, com o auxílio do código de programação Fortran, que foram utilizadas para a avaliação do número de dias com condições meteorológicas extremas. No capítulo 3 apresento como foi estruturada toda esta investigação da qual surgiu este trabalho. No capítulo 4, faço a análise dos resultados e no capítulo 5 tiro as conclusões.

Capítulo 2. Revisão de literatura

2.1 Distribuição Generalizada de Valores Extremos

O modelo clássico que fundamenta a teoria dos valores extremos foi inicialmente apresentado (em 1928) por Fisher & Tippett e define três tipos de distribuições assintóticas de valores extremos, conhecidas como de Gumbel, Fréchet e de Weibull, respectivamente. É baseado no limite, quando $n \rightarrow \infty$ de máximos de blocos, $M_n = \max\{X_1, \dots, X_n\}$, onde X_i é uma sucessão estacionária de acontecimentos independentes que correspondem a séries de observações diárias; a partir da amostra é possível obter uma sucessão de coeficientes $a_n > 0$ e b_n dependentes da dimensão n da amostra, por exemplo, para uma distribuição exponencial standard, podemos tomar $a_n = \ln n$ e $b_n = 1$, de forma que $(M_n - b_n)/a_n$ é uma sequência de máximos lineares normalizados que convergem em distribuição contínua, ou seja:

$$P\{(M_n - b_n)/a_n \leq x\} = F^n(x) = F^n(a_n x + b_n) \rightarrow H(x),$$

para evitar degenerescência⁽²⁾. Dependendo de qual seja a distribuição limite do máximo de uma sucessão de variáveis aleatórias independentes, com distribuição comum $F(x)$, diz-se que F pertence ao domínio de atracção de H , o que é o mesmo que dizer que $F \in D(H)$. O comportamento da cauda de $F(x)$ determina o domínio de atracção. As condições necessárias e suficientes para que $F \in D(H)$, são dadas pelo teorema seguinte:

Seja $x_0 \leq \infty$ tal que $F(x_0) = 1$ e $F(x) < 1$, para todo $x < x_0$, então,

► $F \in D(H^1)$ se e só se:

$$\lim_{x \rightarrow x_0} \frac{1 - F(x)}{1 - F(kx)} = k^\alpha \text{ para cada } k > 0 \text{ e } \alpha > 0$$

► $F \in D(H^2)$ se e só se:

² Com probabilidade 1 a distribuição de M_n converge para o ponto do fim superior de F .

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{1 - F(x_0 - kh)}{1 - F(x_0 - h)} = k^\alpha \text{ para cada } k > 0 \text{ e } \alpha > 0$$

► $F \in D(H^3)$ se e só se existe uma função contínua $A(x)$ tal que $\lim_{x \rightarrow x_0} A(x) = 0$ e para todo o h :

$$\lim_{x \rightarrow x_0} \frac{1 - F\{x(1 + hA(x))\}}{1 - F(x)} = e^{-h}$$

Com estes resultados sabe-se que se F é uma distribuição exponencial, normal ou Weibull então $F \in D(H^3)$, se F é uniforme, $F \in D(H^2)$.

Então $F \in D(H) \Rightarrow H$ é do tipo H_ξ para um dado ξ ,

Nestas condições, a convergência dá-se para uma distribuição limite que é uma distribuição de valor extremo para um dado valor dos parâmetros de forma ξ , de localização μ e de escala σ . As distribuições de valores extremos são geralmente consideradas compreendidas como pertencentes às três famílias:

tipo I	$\Pr[X \leq x] = \exp(-e^{-(x-\mu)/\sigma})$
tipo II	$\Pr[X \leq x] = \begin{cases} 0 & (x < \xi) \\ \exp\left(-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{\frac{1}{\xi}}\right) & (x \geq \xi) \end{cases}$
tipo III	$\Pr[X \leq x] = \begin{cases} \exp\left(-\left(\frac{\mu-x}{\sigma}\right)^{\frac{1}{\xi}}\right) & (x \leq \xi) \\ 1 & (x > \xi) \end{cases}$

Distribuições tipo I são obtidas tomando $a_n = 1$; Tipos II e III tomando $a_n \neq 1$. Neste último caso, se, se linearizar x , de tal forma que o acontecimento: x tome o valor

$$x = a_n x + b_n, \text{ logo } x = b_n (1 - a_n)^{-1} \text{ e sabendo que}$$

$$F^n(x) = F^n(a_n x + b_n) \rightarrow H(x), \quad (1)$$

de onde se conclui que, a distribuição limite $H(b_n(1-a_n)^{-1})$ correspondente aos Tipo II e III deve ser igual a 1 ou a 0, ou seja, a distribuição Tipo II corresponde a 1 no seu limite superior e a distribuição Tipo III a 0 no seu limite inferior.

Consideremos o caso em que $a_n = 1$ (Tipo I) em detalhe. Assim

$$F^n(x) = F(x + b_n) \rightarrow H(x) \quad (2)$$

e desde que $F(x + b_n)$ satisfaça (1),

$$F^{nm}(x) = F^m(x + b_n) = F(x + b_n + b_m), \text{ ou seja } F^{nm}(x) = F(x + b_{nm}), \text{ logo } b_n + b_m = b_{nm}.$$

Sabendo que $b_n = \sigma \log n$, com σ constante e tomando duas vezes o logaritmo de (2) e inserindo o valor de b_n , temos que (sabendo que $F \leq 1$)

$$\log n + \log(-\log F(x)) = \log(-\log F(x + \sigma \log n)).$$

Por outras palavras, quando o argumento de $h(x) = \log(-\log F(x))$ aumenta por $\sigma \log n$, $h(x)$ decresce por $\log n$, conseqüentemente

$$h(x) = h(0) - x/\sigma \quad (3)$$

desde que $h(x)$ decresça com o aumento de x , com $\sigma > 0$. De (3) vem:

$$-\log F(x) = \exp[-(x - \sigma h(x))/\sigma] = \exp[-(x - \mu)/\sigma]$$

onde $\mu = \sigma \log(-\log F(0))$, então

$$H(x) = \exp(-e^{-(x-\mu)/\sigma}) \quad (\text{convergência em distribuição})$$

é a função de distribuição da família Gumbel. Não entrarei em detalhes para as derivações das distribuições do Tipo II e III. As distribuições Tipo II são da família Fréchet e tipo III da família Weibull. Distribuições que satisfazem a condição (3) do tipo I, ou seja, as caudas da

distribuição de Gumbel, correspondem às distribuições Normal, Gama e a Exponencial, do tipo II à distribuição de Cauchy e de t de Student e do Tipo III à distribuição Uniforme.

Assim em aplicações destas três famílias obtêm-se representações muito diferentes do valor extremo. Surgia assim, o problema de identificar qual a distribuição mais adequada para uma determinada amostra de dados e na estimação dos parâmetros dessa distribuição, e uma vez escolhida, a inferência de que essa escolha era a correcta. Jenkinson (1955) propôs combinar estas três famílias numa família única, a Distribuição Generalizada de Valores Extremos que poderia ser identificada através dos seus parâmetros de localização μ , de escala σ e de forma ξ , que tem como função distribuição de probabilidade

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{\frac{1}{\xi}} \right\}, \quad (4)$$

definida em, $-\infty < x < \mu - \sigma/\xi$ para $\xi < 0$, $-\infty < x < +\infty$ para $\xi \rightarrow 0$, $\mu - \sigma/\xi < x < +\infty$ para $\xi > 0$, com $\sigma > 0$.

As distribuições de valores extremos de Fréchet e Weibull correspondem aos casos particulares de (4) em que $\xi > 0$ e $\xi < 0$, respectivamente. No limite de $F(x)$ quando $\xi \rightarrow 0$ tem-se que:

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right], \quad (5)$$

que é a função de distribuição de Gumbel.

Derivando (4) em ordem a x , obtêm-se a função densidade de probabilidade da Distribuição Generalizada de Valor Extremo (GEV), dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1+\xi}{\xi}\right)} \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{\frac{1}{\xi}} \right\}, \quad (6)$$

definida em, $-\infty < x < \mu - \sigma/\xi$ para $\xi < 0$ e em $\mu - \sigma/\xi < x < +\infty$ para $\xi > 0$, cujo limite para $\xi \rightarrow 0$, é:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left\{ \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right] \right\}, \quad (7)$$

definida em $-\infty < x < +\infty$.

Muitas técnicas foram propostas para a estimação dos parâmetros nos modelos de valores extremos. Estas incluem técnicas gráficas baseadas em versões de gráficos de probabilidade, técnicas baseadas nos momentos e métodos baseados na máxima verosimilhança. Esta última técnica, devido à sua grande utilidade e adaptabilidade, torna-se particularmente atractiva, pois é uma teoria bem compreendida e as inferências são facilmente modificadas ao incorporar modelos com estruturas mais complexas. A dificuldade dos métodos de máxima verosimilhança aplicados à GEV, está relacionada com as condições de regularidade, que são requeridas para as propriedades assintóticas associada com o estimador de máxima verosimilhança. Assim, inicialmente, com o aparecimento das três famílias de valor extremo e segundo Smith (1985), devido aos limites das distribuições dependerem de seus parâmetros, as condições de regularidade para a estimação pelo método da máxima verosimilhança não são necessariamente satisfeitas, tal como acontece nas distribuições Lognormal, Weibull e Gama de três parâmetros. Assim através de um estudo cuidadoso, Smith (1985) obteve os seguintes resultados:

- quando $\xi > -0,5$, os estimadores de máxima verosimilhança são completamente regulares,
- quando $-1 < \xi < -0,5$, os estimadores de máxima verosimilhança, existem, mas não são regulares,
- quando $\xi < -1$, os estimadores de máxima verosimilhança não existem.

Apesar dos problemas que podem ocorrer quando $\xi < -0,5$, esta situação, segundo Smith (1985), é extremamente rara para dados ambientais, e corresponde a distribuições com cauda superior muito curta e finita. De uma forma geral, quando se trabalha com dados reais os valores do parâmetro ξ geralmente encontram-se no intervalo $[-0,5; 0,5]$ (Bautista (2002)). O que, confirmam os valores para os intervalos do parâmetro de forma no estudo de Jenkinson [1955] para a Distribuição GEV.

Em estudos climáticos ambientais requerem-se modelos para estudos de extremos muito pequenos, assim como, de extremos muito elevados. Podemos com um estudo de mínimos considerar um sistema temporal em que $\tilde{M}_n = \min\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ com X_i um acontecimento aleatório e identicamente independente e distribuído, e os argumentos aplicados a M_n , tais como:

$$\Pr\{(M_n - b_n)/a_n \leq x\} = \Pr\{M_n < x\} \rightarrow H(x)$$

são aplicados a \tilde{M}_n de forma que tenda para uma distribuição limite de uma variável normalizada. O resultado é imediato do correspondente para M_n .

Seja $Y_i = -X_i$ para $i=1, \dots, n$, onde a variação de sinal, significa que para pequenos valores de X_i correspondem valores elevados de Y_i . Se $\tilde{M}_n = \min\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ e $M_n = \max\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$, então $\tilde{M}_n = -M_n$ e para um n elevado,

$$\begin{aligned} \Pr\{\tilde{M}_n \leq z\} &= \Pr\{-M_n \leq z\} = \Pr\{M_n \geq -z\} = 1 - \Pr\{M_n \leq -z\} \\ &\approx 1 - \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{-z - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\xi}}\right\} = 1 - \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{z - \tilde{\mu}}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\xi}}\right\} \end{aligned}$$

com $\left\{z: 1 - \xi\left(\frac{z - \tilde{\mu}}{\sigma}\right) > 0\right\}$, com $\tilde{\mu} = -\mu$ e $-\infty < \mu < +\infty$, $\sigma > 0$ e $-\infty < \xi < +\infty$, é distribuição GEV para o extremo mínimo.

2.1.1 Estimação dos parâmetros da Distribuição GEV

O método mais geral e flexível para a estimação de um parâmetro desconhecido θ pertencente a uma família F é a máxima verosimilhança. Cada valor de θ , potencia diferentes valores de probabilidades dos dados observados. A probabilidade de um dado observado como função de θ é chamada função verosimilhança. Funções de θ que tenham alta verosimilhança correspondem a modelos que nos dão uma alta probabilidade para os dados observados. O princípio de estimação de máxima verosimilhança é uma adoção de um modelo com grande verosimilhança, que é um sinal de alta probabilidade para os dados observados.

Considerando que x_1, x_2, \dots, x_n são uma série de realizações aleatórias independentes e identicamente distribuídas e ordenadas, com função densidade de probabilidade da GEV, a função verosimilhança é

$$L(\theta) = L(\mu, \sigma, \xi) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta) = \frac{1}{\sigma^n} \prod_{i=1}^n \left\{ \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{\frac{1+\xi}{\xi}} \right\} \exp \left\{ \sum_{i=1}^n \left[- \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{\frac{1}{\xi}} \right] \right\},$$

que para $\xi < 0$, assume valores diferentes de zero, se todos os valores de x_i ($i=1,2,\dots,n$) forem menores do que $\mu - \sigma/\xi$, ou seja, se $\mu - \sigma/\xi > x_n$, sendo x_n o maior valor da série de observações, e para $\xi > 0$, se todos os valores de x_i ($i=1,2,\dots,n$) forem maiores que $\mu - \sigma/\xi$, ou seja, $\mu - \sigma/\xi < x_1$ o menor valor da série de observações. Caso contrário $L(\theta) = 0$.

É mais conveniente tomar o logaritmo e trabalhar com o logaritmo da função verosimilhança, que é dado por:

$$\begin{aligned} l(\mu, \sigma, \xi) &= \ln[L(\mu, \sigma, \xi)] = -n \ln \sigma - \left(\frac{1+\xi}{\xi} \right) \sum_{i=1}^n \ln \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right] - \sum_{i=1}^n \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{\frac{1}{\xi}} \\ &= \sum_{i=1}^n \left\{ -\ln \sigma - \left(\frac{1+\xi}{\xi} \right) \ln \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right] - \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{\frac{1}{\xi}} \right\} \end{aligned}$$

para $\mu - \sigma/\xi > x_n$ e $\xi < 0$ ou $\mu - \sigma/\xi < x_1$ se $\xi > 0$. Caso contrário $l(\mu, \sigma, \xi)$ não existe.

Os estimadores de máxima verosimilhança de μ , σ e ξ são obtidos maximizando o logaritmo da função verosimilhança $l(\mu, \sigma, \xi)$ em relação a cada parâmetro e a raiz obtida, a sua solução. Assim:

$$\frac{\partial}{\partial \mu} l(\mu, \sigma, \xi) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} l(\mu, \sigma, \xi) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi} l(\mu, \sigma, \xi) = 0$$

ou, seja:

$$\frac{1}{\hat{\sigma}} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1 + \hat{\xi} - w_i \frac{1}{\hat{\xi}}}{\hat{\sigma}} \right) = 0$$

$$-\frac{n}{\hat{\sigma}} + \frac{1}{\hat{\sigma}^2} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\left(x_i - \hat{\mu} \right) \left[\left(1 + \hat{\xi} \right) - w_i \frac{1}{\hat{\xi}} \right]}{w_i} \right\} = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \left(1 - w_i \frac{1}{\hat{\xi}} \right) \left[\frac{1}{\hat{\xi}^2} \ln(w_i) - \frac{\left(x_i - \hat{\mu} \right)}{\hat{\xi} \hat{\sigma} w_i} \right] - \frac{\left(x_i - \hat{\mu} \right)}{\hat{\sigma} w_i} \right\} = 0,$$

sendo $w_i = 1 + \hat{\xi} \left(\frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \right)$.

Como o sistema de equações (8) não se pode resolver por incluir parâmetros desconhecidos há que os determinar primeiro e para isso utilizaram-se procedimentos iterativos para obter as estimativas dos parâmetros de máxima verosimilhança usando a informação da matriz esperanças matemáticas M . A formula iterativa é, para $j \geq 0$:

$$\theta^{(j+1)} = \theta^{(j)} + M(\hat{\theta})^{-1} \text{grad } l(\theta^j)$$

onde $\theta = (\mu, \sigma, \xi)$, com :

$$-\text{grad } l(\theta) = \left(-\frac{\partial l}{\partial \mu}, -\frac{\partial l}{\partial \sigma}, -\frac{\partial l}{\partial \xi} \right), \text{ e}$$

$$M(\hat{\theta}) = \begin{bmatrix} -E\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \sigma^2}\right) & -E\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \mu \partial \sigma}\right) & -E\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \xi \partial \sigma}\right) \\ -E\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \mu \partial \sigma}\right) & -E\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \mu^2}\right) & -E\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \xi \partial \mu}\right) \\ -E\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \xi \partial \sigma}\right) & -E\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \xi \partial \mu}\right) & -E\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \xi^2}\right) \end{bmatrix}.$$

Os elementos de M podem ser expressos em termos da função gama $\Gamma(r) = \int e^{-x} x^{r-1} dx$ e de $\psi(r) = d \log \Gamma(r) / dr$ como:

$$E\left(-\frac{\partial^2 l}{\partial \sigma^2}\right) = \frac{n}{\sigma^2 \xi^2} [1 - 2\Gamma(2 - \xi) + p]$$

$$E\left(-\frac{\partial^2 l}{\partial \sigma \partial \mu}\right) = \frac{n}{\sigma^2 \xi} [p - \Gamma(2 - \xi)]$$

$$E\left(-\frac{\partial^2 l}{\partial \sigma \partial \xi}\right) = \frac{n}{\sigma \xi^2} \left[1 - \gamma - \frac{\{1 - \Gamma(2 - \xi)\}}{\xi} - q - \frac{p}{\xi}\right]$$

$$E\left(-\frac{\partial^2 l}{\partial \mu^2}\right) = \frac{n}{\sigma^2} p$$

$$E\left(-\frac{\partial^2 l}{\partial \mu \partial \xi}\right) = \frac{n}{\sigma \xi} \left[q + \frac{p}{\xi}\right]$$

$$E\left(-\frac{\partial^2 l}{\partial \xi^2}\right) = \frac{n}{\xi^2} \left[\frac{\pi^2}{6} + \left(1 - \gamma - \frac{1}{\xi}\right)^2 + \frac{2q}{\xi} + \frac{p}{\xi^2}\right],$$

sendo

$$p = (1 - \xi)^2 \Gamma(1 - 2\xi)$$

$$q = \Gamma(2 - \xi) \left\{ \psi(1 - \xi) - \frac{(1 - \xi)}{\xi} \right\}$$

e $\gamma = 0.5772157$ a constante de Euler.

No procedimento iterativo, fixa-se um valor inicial arbitrário ξ_0 para ξ , e sugere-se como valores iniciais μ_0 e σ_0 de μ e σ , respectivamente, valores tais que $E(X) = \bar{x}$ e $Var(X) = s^2$, sendo \bar{x} a média e s^2 a variância da série de observações. Considerando-se a função densidade de probabilidade dada por (6), obtém-se:

$$E(X) = \mu + \frac{\sigma}{\xi} [\Gamma(1 - \xi) - 1], \text{ se } \xi < 1, \text{ e}$$

$$Var(X) = \frac{\sigma^2}{\xi^2} [\Gamma(1 - 2\xi) - \Gamma^2(1 - \xi)], \text{ se } \xi < \frac{1}{2},$$

sendo as seguintes, as expressões para os valores iniciais:

$$\sigma_0 = s \sqrt{\frac{\xi_0^2}{\Gamma(1 - 2\xi_0) - \Gamma^2(1 - \xi_0)}} \quad (9)$$

$$\mu_0 = \bar{x} - \frac{\Gamma(1 - \xi_0) - 1}{\xi_0} \sigma_0 = \bar{x} - \frac{s}{\xi_0} [\Gamma(1 - \xi_0) - 1] \sqrt{\frac{\xi_0^2}{\Gamma(1 - 2\xi_0) - \Gamma^2(1 - \xi_0)}} \quad (10)$$

Jenkinson sugeriu que se devia usar a matriz de informação de Fisher (ou matriz de esperanças matemáticas) para uma população, pois, para amostras, aquelas esperanças matemáticas não podem ser obtidas, e têm de ser estimadas a partir da própria amostra. Foi observado em estudos de simulações para as estimativas dos parâmetros, nos processos iterativos descritos, que a convergência para θ é consideravelmente mais rápida, usando a matriz $V(\hat{\theta})$ em vez da matriz $M(\hat{\theta})$. Assim é usual aproximar a matriz $M(\hat{\theta})$ por esta nova matriz $V(\hat{\theta})$, a matriz de informação observada, descrita por:

$$V(\hat{\theta}) = \begin{bmatrix} -\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \sigma^2}\right) & -\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \mu \partial \sigma}\right) & -\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \xi \partial \sigma}\right) \\ -\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \mu \partial \sigma}\right) & -\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \mu^2}\right) & -\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \xi \partial \mu}\right) \\ -\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \xi \partial \sigma}\right) & -\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \xi \partial \mu}\right) & -\left(\frac{\partial^2 l}{\partial \xi^2}\right) \end{bmatrix}.$$

Com esta nova matriz, o cálculo iterativo de θ , envolve rapidez computacional e converge para $|grad l| < 10^{-3}$ em menos de 5 iterações.

Para o caso particular da distribuição generalizada de valores extremos com $\xi \rightarrow 0$, uma distribuição Gumbel, o logaritmo da função verosimilhança é dado por:

$$l(\mu, \sigma) = \sum_{i=1}^n \left\{ -\ln \sigma - \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) - \exp \left(- \frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right\},$$

e os estimadores de máxima verosimilhança de μ e σ são obtidos pela solução de:

$$\frac{\partial}{\partial \mu} l(\mu, \sigma) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} l(\mu, \sigma) = 0,$$

ou seja:

$$-\frac{1}{\hat{\sigma}} \left\{ \left[\sum_{i=1}^n \exp \left(- \frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \right) \right] - n \right\} = 0$$

$$-\frac{1}{\hat{\sigma}} \left\{ \left[\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \right) - \left(\frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \right) \exp \left(- \frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \right) \right] \right] - n \right\} = 0.$$

Mais uma vez, este sistema não possui solução analítica, e usou-se o mesmo método iterativo, descrito em cima, para a obtenção da solução numérica, tomando como valores iniciais μ_0 e σ_0 para μ e σ , as soluções obtidas através do cálculo dos momentos. Para este caso tem-se:

$$E(X) = \mu + \gamma \sigma$$

$$Var(X) = \frac{\pi^2 \sigma^2}{6},$$

com $\gamma = 0.5772157$ a constante de Euler, e considerando que os momentos correspondem à média e a variância da amostra, logo

$$\mu_0 = \bar{x} - \gamma \frac{\sqrt{6}}{\pi} s \cong \bar{x} - 0.45005 s$$

$$\sigma_0 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s \cong 0.77970 s ,$$

que correspondem aos limites de (9) e (10) quando $\xi_0 \rightarrow 0$.

2.2 Testes aplicados

Foram aplicados neste trabalho três testes de ajuste a distribuições de valores extremos. O teste de Anderson Darling, o de Kolmogorov Smirnov e o da taxa de verosimilhança.

O teste de Anderson Darling é baseado numa função distribuição empírica A^2 , tal que:

$$A^2 = - \left[\sum_i (2i-1) \{ \log z_i + \log(1-z_{n+1-i}) \} \right] / n - n$$

com $z = F(x_i)$, em que $F(x_i)$ é a função distribuição cumulativa da distribuição GEV que são:

$$F(x_i) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\} \quad \begin{array}{l} x_i : 1 + \xi (x_i - \mu) / \sigma > 0 \\ -\infty < \mu < +\infty \end{array} \quad (\text{Weibull e Fréchet})$$

$$-\infty < \xi < +\infty \quad e \quad \sigma > 0$$

$$F(x_i) = \exp \left[- \exp \left\{ - \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right\} \right], \quad -\infty < x_i < +\infty \quad (\text{Gumbel})$$

com os parâmetros μ , σ e ξ das distribuições, estimados de amostras aleatórias de forma que $F(x_i)$ esteja completamente especificada, e a amostra deve ser ordenada em ordem ascendente. É um teste que mede a discrepância entre a função empírica de uma amostra e a distribuição teórica. O resultado é comparado com um valor crítico a um determinado nível de confiança. Para valores abaixo do valor crítico considera-se a hipótese de que a amostra corresponde à distribuição específica

O teste de Kolmogorov Smirnov é baseado numa função distribuição empírica D , tal que:

$$D = \max_{1 \leq i \leq N} \left| F(x_i) - \frac{i}{N} \right|$$

com $F(x_i)$, uma qualquer distribuição cumulativa expressa em cima. O teste é efectuado da mesma forma que foi descrita em cima e mais uma vez os parâmetros μ , σ e ξ , devem ser conhecidos. Os resultados do teste são comparados da mesma forma que anteriormente. Este teste é mais sensível na parte central da distribuição do que na cauda, como é o caso do teste de Anderson Darling.

O teste de taxa de verosimilhança, testa se as observações seguem uma distribuição de valores extremos tipo I, II ou III, supondo que uma distribuição M_0 (no nosso caso a distribuição Gumbel), com parâmetro localização μ e escala σ , é um sub-modelo de M_1 (distribuições Weibull ou Fréchet), com parâmetro localização μ , escala σ e de forma ξ , sob o constrangimento de que $\xi = 0$. Seja $l_0(M_0)$ e $l_1(M_1)$ o valor maximizado do logaritmos da verosimilhança das distribuições M_0 e M_1 , respectivamente, o teste valida a distribuição M_0 , relativamente a M_1 , ao nível de significância α , ou seja, rejeita-se M_0 em favor de M_1 se:

$$D = 2\{l_1(M_1) - l_0(M_0)\} > c_\alpha$$

onde c_α é o quantis $(1 - \alpha)$ da distribuição assintótica χ_k^2 com 1 grau de liberdade. Este teste foi aplicado a todas as distribuições cujo parâmetro de forma era aproximadamente igual a zero para testar a que distribuição realmente pertencia a amostra.

2.3 Distribuição Generalizada de Pareto

Seja X_1, X_2, \dots, X_n uma sequência de variáveis aleatórias identicamente independentes de uma função distribuição F . Estes acontecimentos são tais que X_i excede um limiar u . Denominando X por um termo arbitrário X_i , a probabilidade condicional do evento extremo é dado por:

$$\Pr\{X > u + y | X > u\} = \frac{1 - F(u + y)}{1 - F(u)}, \quad y > 0.$$

Seja esta distribuição F uma distribuição generalizada de valores extremos, tal que:

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right]^{\frac{1}{\xi}}\right\} \quad \text{para qualquer } \mu, \sigma > 0 \text{ e } \xi.$$

Tendo em conta que:

$$n \ln F(x) \approx - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}}, \quad (11)$$

e que, para valores elevados de x

$$\ln F(x) \approx -\{1 - F(x)\},$$

vem, substituindo esta aproximação em (11), rearranjando e fazendo $x = u$

$$1 - F(u) \approx \frac{1}{n} \left[1 + \xi \left(\frac{u - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}}.$$

De uma forma similar vem para, $y > 0$

$$1 - F(u + y) \approx \frac{1}{n} \left[1 + \xi \left(\frac{u + y - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}}.$$

Então, a probabilidade condicional do evento extremo, é dada por:

$$\Pr\{X > u + y | X > u\} = \frac{1 - F(u + y)}{1 - F(u)} = \frac{\frac{1}{n} \left[1 + \xi \left(\frac{u + y - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}}}{\frac{1}{n} \left[1 + \xi \left(\frac{u - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}}} = \left(1 + \frac{\xi y}{\tilde{\sigma}} \right)^{-\frac{1}{\xi}}, \text{ com}$$

$$\tilde{\sigma} = \sigma + \xi(u - \mu).$$

A função de distribuição condicional de $(X - \mu)$, dado $X > u$, é aproximadamente:

$$H(y) = 1 - \left(1 + \frac{\xi y}{\tilde{\sigma}} \right)^{-\frac{1}{\xi}}, \quad (12)$$

definida em $\left\{ y : y > 0 \text{ e } \left(1 + \xi y / \tilde{\sigma} \right) > 0 \right\}$, onde $\tilde{\sigma} = \sigma + \xi(u - \mu)$.

A família de distribuições definida por (12) é chamada Distribuição Generalizada de Pareto (GPD). Os parâmetros da Distribuição Generalizada de Pareto de valores que ultrapassam limiares são determinados por aqueles associados à Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV).

No limite de $F(x)$, quando $\xi \rightarrow 0$, tem-se a função de distribuição de Gumbel:

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right],$$

a função distribuição condicional $(X - \mu)$, dado $X > u$, é:

$$H(y) = 1 - \exp\left(-\frac{y}{\sigma}\right), \text{ com } y > 0$$

2.3.1 Seleção do limiar

Para a determinação do limiar crítico recorre-se à análise gráfica da linearidade de n_u observações que excedem os vários limiares u determinados da própria amostra. Assim, o gráfico de excedências médias, ou seja, de valores que ultrapassam os limiares, usado para a determinação visual de u é construído da seguinte forma:

$$\left\{ \left(u, \frac{1}{n_u} \sum_{i=1}^{n_u} (x_i - u) \right) : u < x_{\max} \right\},$$

em que x_1, x_2, \dots, x_{n_u} consistem nas observações que excedem u e x_{\max} é o valor mais elevado das observações.

A escolha do limiar implica um balanço entre o viés, isto é, a diferença entre o valor esperado do parâmetro o verdadeiro valor do parâmetro, e a variância, pois para estimadores não enviesados o erro quadrático médio (que é igual à diferença entre variância e o viés) é igual à variância e minimizar a variância significa minimizar o erro quadrático médio, assim devido a isto, deve-se escolher um limiar que não seja muito elevado, nem muito baixo e para tal, existem duas técnicas disponíveis, uma técnica exploratória e outra de contribuição para estabilidade dos parâmetros estimados, baseado no modelo de ajuste para o alcance dos diferentes limiares, descrito em cima. O primeiro método é baseado na

média da distribuição generalizada de Pareto. Seja Y função densidade de probabilidade de Pareto com parâmetros σ e ξ , então, o primeiro momento não centrado, é dado por:

$$E(Y) = \frac{\sigma}{1-\xi}, \quad \text{com } \xi < 1.$$

Quando $\xi \geq 1$ a media é infinita. O segundo momento não centrado é:

$$\text{Var}(Y) = \frac{\sigma^2}{1-2\xi}, \quad \text{com } \xi < \frac{1}{2}.$$

Seja u_0 o limiar mais baixo de uma série X_1, X_2, \dots, X_n arbitrária, então:

$$E(Y) = E(X - u_0 | X > u_0) = \frac{\sigma_{u_0}}{1-\xi} \quad \text{com } \xi < 1,$$

em que σ_{u_0} é o parâmetro escala correspondente às excedências do limiar u_0 . Mas se a distribuição de Pareto é válida para as excedências de u_0 , também é igualmente válida para as excedências do limiar $u > u_0$, sujeito a apropriada variação no parâmetro escala para σ_u . Então, para $u > u_0$,

$$E(X - u | X > u) = \frac{\sigma_u}{1-\xi} = \frac{\sigma_{u_0} + \xi u}{1-\xi}.$$

A distribuição generalizada de Pareto é um modelo razoável para as excedências acima do limiar u_0 , assim como para um limiar mais elevado u . Os parâmetros de forma das duas distribuições são idênticos. No entanto, o valor do parâmetro de escala para o limiar $u > u_0$ é:

$$\sigma_u = \sigma_{u_0} + \xi(u - u_0),$$

que varia com u , a menos que $\xi = 0$. Esta dificuldade pode ser remediada pela reparametrização do parâmetro de escala como segue:

$$\sigma^* = \sigma_u - \xi u \quad \text{e} \quad \sigma_u = \bar{x}(1-\xi),$$

sendo \bar{x} a média dos excessos para cada limiar u , e sendo ξ determinado a partir da média e do desvio padrão das excedências de cada limiar u ; conseqüentemente, as estimativas de σ^* e ξ serão constantes acima de u_0 , se u_0 fôr um limiar válido para as excedências que obedecem à distribuição generalizada de Pareto. Assim, os gráficos de σ^* e ξ versus u , juntamente com os intervalos de confiança que são obtidos da matriz covariância V ⁽³⁾, pelo método delta, expresso pela formula

$$\text{Var}(\sigma^*) \approx \nabla \sigma^{*T} V \nabla \sigma^*, \quad \text{com} \quad \nabla \sigma^{*T} = \left[\frac{\partial \sigma^*}{\partial \sigma_u}, \frac{\partial \sigma^*}{\partial \xi} \right] = [1, -u].$$

Permitem seleccionar adequadamente o limiar crítico u .

2.3.2 Estimativas dos parâmetros de máxima verosimilhança

Determinado o limiar, os parâmetros da Distribuição Generalizada de Pareto podem ser estimados por máxima verosimilhança. Suponha-se que y_1, y_2, \dots, y_n são n excessos de um limiar u . Então para $\xi \neq 0$ o logaritmo da função verosimilhança é:

$$l(\sigma, \xi) = -k \log \sigma - \left(1 + \frac{1}{\xi}\right) \sum_{i=1}^k \log \left(1 + \frac{\xi y_i}{\sigma}\right),$$

com $1 + \frac{\xi y_i}{\sigma} > 0$ para $i=1, 2, \dots, k$, de outra forma $l(\sigma, \xi) = -\infty$. No caso em que $\xi \rightarrow 0$ o logaritmo da função verosimilhança é:

$$l(\sigma) = -k \log \sigma - \left(\frac{1}{\sigma}\right) \sum_{i=1}^k y_i$$

Procedendo-se da mesma forma, como para a GEV e considerando como valores iniciais os valores determinados em cima pela análise exploratória, determinam-se os parâmetros da distribuição generalizada de Pareto assim como o valor de máxima verosimilhança.

³ é a matriz inversa da matriz de informação observada



Capítulo 3. Dados e Metodologia

3.1 Dados modelados

Neste estudo usaram-se valores de elementos climáticos fornecidos por três simulações do modelo regional de clima de terceira geração do Hadley Centre, o modelo HadRM3, que tem uma resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na atmosfera, desde a superfície até 30km na estratosfera e quatro níveis no solo. Na sua simulação de controlo os processos físicos de superfície incluem o ciclo do enxofre, o que permite fazer estimativas das concentrações das partículas de aerossóis de sulfato produzidas por emissões de SO₂, tendo um efeito de arrefecimento (albedo) com o seu espalhamento que impede a luz solar e produz nuvens luminosas. O modelo contém representações dos forçamentos radiativos de gases com efeito de estufa de origem antropogénica, como o dióxido de carbono CO₂, o óxido de azoto N₂O e o metano CH₄, e o efeito do forçamento do ozono troposférico antropogénico e o seu declínio na estratosfera; o forçamento de gases industriais não é descrito pelo modelo (*Tett and all, 2000*). Os cenários de emissões A2a e B2a, utilizados nas simulações, estão descritos em pormenor no Special Report on Emissions Scenarios (*SRES*) do IPCC. O modelo HadRM3 trabalha com uma rede rodada, com o pólo situado em 38°N e 190°E. As simulações acima mencionadas são relativas ao período de referência 1961-1990, e ao período 2071-2100 para os cenários SRES A2a e B2a. Foram escolhidos 9 dos 38 nós que cobrem Portugal continental para a análise de valores extremos. As variáveis seleccionadas foram a temperatura máxima e mínima diárias, a precipitação diária acumulada e a velocidade média e máxima diária do vento.

3.2 Dados observacionais

Foram igualmente usados dados observacionais, relativos ao período de referência 1961-90 de estações climatológicas do Instituto de Meteorologia (*ver Tab. 1*) e que circundam os 9 nós da rede do modelo HadRM3 escolhidos (*ver Fig. 1*), e que são: Braga, Bragança, Bigorne, Coimbra, Rio Maior, Lisboa, Elvas, Beja e Sagres. As variáveis seleccionadas foram a temperatura máxima e mínima diárias, a precipitação diária acumulada e a velocidade média diária do vento por não nos ter sido facultada a velocidade máxima diária do vento nas séries.

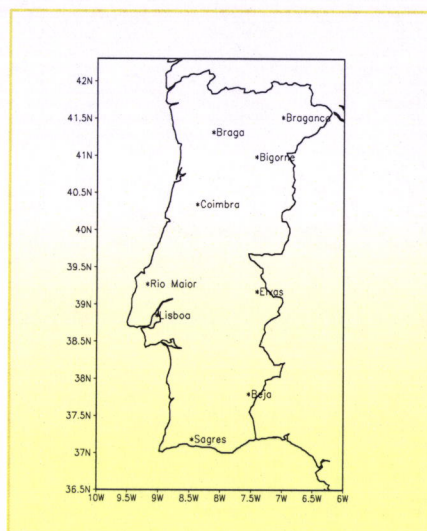


Fig. 1) Disposição dos 9 nós escolhidos dos 38 nós da malha do modelo HadRM3 que Cobrem Portugal Continental.

	NÓ	LAT	LONG	ALT	NOME ESTAÇÃO	LAT	LONG	ALT
1ª REGIÃO	8	41,27N	8,16W	0m	<i>Paços de Ferreira</i>	41,27N	8,38W	320m
					<i>Braga/Posto Agrário</i>	41,55N	8,40W	190m
					<i>Bigorne</i>	41,00N	7,88W	975m
					<i>Régua</i>	41,17N	7,80W	65m
	17	40,30N	8,42W	0m	<i>Coimbra/Bencanta</i>	40,22N	8,45W	27m
					<i>Coimbra/Geofísico</i>	40,20N	8,42W	141m
					<i>Anadia</i>	40,43N	8,43W	45m
					<i>Dunas de Mira</i>	40,45N	8,75W	14m
					<i>Montemor-o-Velho</i>	40,18N	8,72W	15m
	2ª REGIÃO	27	39,23N	9,21W	74,45m	<i>Ota/Base Área</i>	39,12N	8,98W
<i>Dois Pontos</i>						39,03N	9,18W	183m
<i>Rio Maior</i>						39,35N	8,93W	69m
<i>Cabo Carvoeiro</i>						39,65N	9,40W	32m
33		38,81N	9,06W	213,79m	<i>Lisboa/Portela</i>	38,78N	9,13W	103m
					<i>Lisboa</i>	38,72N	9,15W	77m
					<i>Sacavém</i>	38,82N	9,08W	9m
					<i>Sintra/Granja/Base Área</i>	38,83N	9,33W	134m
<i>Lisboa/Tapada da Ajuda</i>	38,70N	9,18W	37m					
3ª REGIÃO	10	41,47N	7,03W	0m	<i>Mirandela</i>	41,52N	7,20W	250m
					<i>Moncorvo</i>	41,17N	7,05W	375m
					<i>Bragança</i>	41,63N	6,73W	690m
	36	39,13N	7,45W	59,59m	<i>Portalegre</i>	39,28N	7,42W	597m
					<i>Vila Fernando</i>	38,92N	7,32W	360m
					<i>Elvas</i>	38,88N	7,15W	208m
	14	40,94N	7,46W	234,82m	<i>Bigorne</i>	41,00N	7,88W	975m
<i>Pinhão/Santa Bárbara</i>					41,17N	7,55W	130m	
4ª REGIÃO	47	37,75N	7,58W	167,08m	<i>Mértola/Vale Formoso</i>	37,75N	7,55W	190m
					<i>Castro verde</i>	37,78N	8,08W	190m
					<i>Beja</i>	38,02N	7,87W	246m
	57	37,15N	8,50W	217,31m	<i>Monchique</i>	37,32N	8,55W	465m
					<i>Sines</i>	37,95N	8,88W	15m
<i>Sagres</i>	36,98N	8,95W	40m					

Tab. 1) Portugal continental dividido em 4 regiões. Designação dos 9 nós do modelo HadRM3 e das estações Climatológicas que lhe são vizinhas, a vermelho a designação do nó.

3.3 Metodologia

Os valores diários observados, das variáveis escolhidas, relativos às estações climatológicas que influenciam cada nó do HadRM3, foram transformados num único valor diário, subsequentemente atribuído àquele nó, simplesmente tomando o valor médio das observações em cada estação. O calendário foi modificado para 30 dias mensais, valor escolhido para o número (*fixo*) de dias por mês, nas simulações.

Foi de grande interesse avaliar o desempenho do modelo e para isso comparou-se a simulação de controlo referente ao período de 1961-1990 com os valores observados, para certos parâmetros descritos em baixo. Em simultâneo, a simulação do período de referência 1961-1990 e as duas simulações futuras, referentes ao período 2071-2100, foram comparadas utilizando a mesma metodologia.

Na validação/comparação seguiram-se os seguintes procedimentos:

1) Representou-se cada uma das estações do ano pelo seu mês intermédio, ou seja, pelos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, relativos ao Inverno, Primavera, Verão e Outono, e determinou-se o:

- ▣ valor médio mensal da temperatura máxima diária,
- ▣ valor médio mensal da temperatura mínima diária,
- ▣ valor máximo mensal da temperatura máxima diária,
- ▣ valor mínimo mensal da temperatura mínima diária,
- ▣ valor máximo mensal da precipitação diária,
- ▣ valor máximo mensal da velocidade média diária do vento (*na validação no período 1961-90*),
- ▣ valor máximo mensal da velocidade máxima diária do vento (*na comparação com o período 2071-100*),

para cada um daqueles meses, no período de trinta anos, de referência e futuro.

2) Definiram-se também extremos em termos de números de dias em que as diferentes variáveis ultrapassaram limiares fixos. Assim, foram calculados os seguintes índices:

Altas temperaturas:

Número máximo de dias consecutivos por ano, com temperaturas superiores ao limiar de 30°C, calculado com a temperatura máxima diária.

Número de dias de Verão por ano, isto é, número de dias em que a temperatura máxima diária excede o limiar de 30°C.

Número de noites tropicais por ano, isto é, número de dias em que a temperatura mínima diária excede o limiar de 20°C.

Baixas temperaturas:

Número de noites muito frias por ano, ou seja, com a temperatura mínima diária abaixo de 0°C.

Número máximo de dias consecutivos por ano com temperaturas abaixo de 0°C, calculada com temperatura mínima diária.

Precipitação:

Número de dias por ano com valores de precipitação superiores a 20mm.

Número de dias por ano com valores de precipitação superiores a 25mm.

Precipitação máxima acumulada de 5 dias e precipitação máxima diária, por ano.

Velocidade do vento:

Nota: na validação foi usada a velocidade média diária do vento mas na comparação usou-se a velocidade máxima diária do vento.

Número de dias por ano em que a velocidade do vento excede 75,6 km/h.

Máximo da velocidade máxima diária do vento, anual.

- 3) Foi também relevante avaliar o número de dias em que as diferentes variáveis ultrapassam valores de percentis que se encontram abaixo do 1° ou acima do 3° quantis. Assim, determinaram-se para as:

Altas temperaturas:

Número de dias em cada Janeiro onde a temperatura mínima diária se encontra acima do percentil 95 de longo-termo. O percentil 95 foi calculado de todos os dias de Janeiro no período de 1961-90.

Número de dias em cada Julho onde a temperatura máxima diária se encontra acima do percentil 95 de longo-termo. O percentil 95 foi calculado de todos os dias de Julho no período de 1961-90.

Baixas temperaturas:

Número de dias em cada Janeiro onde a temperatura máxima diária se encontra abaixo do percentil 5 de longo-termo. O percentil 5 foi calculado de todos os dias de Janeiro no período de 1961-90.

Número de dias em cada Janeiro onde a temperatura mínima diária se encontra abaixo do percentil 5 de longo-termo. O percentil 5 foi calculado de todos os dias de Janeiro no período de 1961-90.

Índice de frequência de invasão de ar frio, calculado pela temperatura mínima diária, isto é, número de dias frios por ano que ocorrem num conjunto no mínimo de 6 dias. Um dia frio, é definido como tendo uma temperatura que se encontra abaixo do percentil 10 de longo-termo. O percentil 10 foi calculado no período de 1061-90.

Precipitação:

Número de dias por ano em que a precipitação diária excede o percentil 75. O percentil 75 foi calculado de todos os dias molhados (*precipitação superior a 0,1 mm*) no período de 1961-90.

Número de dias por ano em que a precipitação diária excede o percentil 95. O percentil 95 foi calculado de todos os dias molhados (*precipitação superior a 0,1 mm*) no período de 1961-90.

Velocidade do vento:

Número de dias por ano em que a velocidade máxima diária do vento (*na validação foi usada a velocidade média diária do vento mas na comparação usou-se a velocidade máxima diária do vento*) excede o percentil 95. O percentil 95 foi calculado no período de 1961-90.

4) Os parâmetros da Distribuição Generalizada de Valores Extremos (*GEV*) que regem os extremos simulados e observados são uma prospecção de mudanças climáticas em climas futuros e foram analisados na validação do clima no século passado como na comparação deste com os cenários SRES A2a e B2a. As amostras foram constituídas pelo:

- ▀ valor máximo de cada mês de Julho da temperatura máxima diária,
- ▀ valor mínimo de cada mês de Janeiro da temperatura mínima diária,
- ▀ Valor máximo sazonal (*de Outubro a Abril*) em cada ano, da precipitação diária,

no período de 30 anos, de referência e futuro. Estas amostras foram examinadas de forma a averiguar a que população pertenciam, isto é, a qual das três distribuições Generalizadas de Valores Extremos, Weibull, Fréchet ou Gumbel melhor se ajustavam.

5) Procedeu-se a uma quantificação da qualidade dos resultados obtidos para o parâmetro de forma, que é indicador do tipo de distribuição a que cada amostra se ajusta e para tal foram efectuados os testes de Anderson Darling e Kolmogorov Smirnov às funções distribuição Cumulativa de Weibull, Fréchet e Gumbel para o nível de confiança de 95%. Foi também efectuado o teste de taxa de verosimilhança a todas as amostras cujos valores do parâmetro de forma, referentes a uma das Distribuições Weibull ou Fréchet, era muito próximo do parâmetro de forma de uma Distribuição Gumbel.

6) A Distribuição Generalizada de Pareto é um meio de diagnóstico dos limiares das variáveis para amostras independentes e estes foram determinados para:

- ▀ temperaturas máximas diárias, para os meses de Verão (*Junho-Agosto*),
- ▀ temperaturas mínimas diárias, para os meses de Inverno (*Dezembro-Fevereiro*),
- ▀ precipitação diárias para o período chuvoso (*Outubro-Abril*);

estes cálculos foram efectuados para o período referência e futuro e os respectivos limiares e excedências foram validados/comparados. A independência das amostras foi determinada por autocorrelações da amostra observada, tendo sido considerada como sendo de 3 dias para temperaturas máximas diária e de 4 dias para as temperaturas mínimas diária. A precipitação diária possui uma autocorrelação muito fraca, pelo que os valores diários se podem considerar independente.

Capítulo 4. Análise

4.1 Validação usando técnicas de análise exploratória de dados

No seguimento do que foi descrito na metodologia, procedeu-se primeiramente à validação do modelo como designado em 1) usando técnicas de análise exploratória de dados, tais como, histogramas, diagramas de curvas, médias e desvios padrão e verificou-se (*ver Tab. 2*) que no Inverno e no Verão do período de referencia, o modelo HadRM3 tem um comportamento mais homogêneo no que respeita aos seis parâmetros escolhidos para a análise dos valores extremos, a saber, a média mensal das temperaturas máximas e mínimas diárias, a máxima mensal da temperatura máxima diárias, a mínima mensal da temperatura mínima diárias, o máximo mensal da precipitação diária e o máximo mensal da velocidade média diária do vento. Nas estações de transição, Primavera e no Outono, o modelo tem já um comportamento mais diversificado, para estes seis parâmetros físicos. Assim pode dizer-se que o Inverno está subestimado e o Verão sobrestimado pelo modelo. Na análise de cada variável física, foi feita uma generalização para Portugal continental. Analisando, por exemplo, apenas a precipitação diária máxima mensal, verifica-se, que está de uma forma geral subestimada, excepto no Inverno, estação em que se verifica uma sobrestimação. O máximo mensal da velocidade média diária do vento, está sobrestimado pelo modelo, excepto no Inverno, onde está subestimado.

Variáveis	Janeiro	Abril	Julho	Outubro
MeanTmin	subestimada	subestimada	sobreestimada	indefinida
MeanTmax	sobrestimada	indefinida	sobrestimada	indefinida
MaxDP	sobrestimada	subestimada	subestimada	subestimada
Wmean	subestimada	sobrestimada	sobrestimada	sobrestimada
MinTmin	subestimada	subestimada	sobrestimada	subestimada
MaxTmax	subestimada	sobrestimada	sobrestimada	indefinida

Tab. 2) Validação da simulação de referência do modelo HadRM3 com os valores observados, para Portugal continental, nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro que representam as estações do ano, Inverno, Primavera, Verão e Outono.

4.2 Comparação usando técnicas de análise exploratória de dados

Ainda em 1), mas agora, em termos de uma análise comparativa entre o período de referência e o período futuro, usando as mesmas técnicas de análise exploratória descritas em cima, verificou-se que há um acentuado aumento dos máximos mensais da temperatura, no que se refere, à média mensal da temperatura máxima e mínima diária e máxima e mínima mensal da temperatura máxima e mínima diária, respectivamente, no período futuro, em todas as estações do ano e a diferença destes máximos e mínimos de temperatura nos dois cenários futuros é aproximadamente de 1°C no Outono e Inverno (*ver Tab. 3 e 4*), mais quente no cenário A2a que no B2a, variável, entre 1°C, para a média e mínima mensal das temperaturas mínimas diárias, e de 2°C, para a média e máxima mensal das temperaturas máximas diárias, na Primavera (*ver Tab. 5*), e inferior a 1°C, nas médias, máximas e mínimas mensais das temperaturas máximas e mínima, para o Verão (*ver Tab. 6*).

Os máximos mensais da precipitação diária estão representados de uma forma variável consoante a estação do ano. Tanto neste estudo como no anterior, fez-se uma divisão de Portugal por regiões, considerando como a 1ª região, a correspondente aos nós de Braga e Coimbra, a 2ª região, aos nós de Rio Maior e Lisboa, a 3ª região, aos nós de Bragança, Elvas e Bigorne e por fim a 4ª região, correspondente aos nós de Beja e Sagres. Assim, no Inverno (*ver Tab. 4*) no período de referência estes máximos de precipitação são inferiores aos do período futuro para os dois cenários A2a e B2a, nas primeiras três regiões, excepto, na quarta região, onde é Superior. O máximo mensal da precipitação diária para o cenário B2a é inferior na 1ª, na 2ª e na 3ª região e superior na 4ª região ao cenário A2a. Na Primavera (*ver Tab. 5*), no período de referência, estes máximos são superiores aos do período futuro na 2ª, 3ª e 4ª região e inferior na 1ª região. O cenário B2a tem um máximo mensal de precipitação diária menos acentuado que o cenário A2a na 1ª e 2ª região e mais acentuado na 3ª e 4ª região. No Verão (*ver Tab. 6*), no período de referência, os máximos mensais de precipitação são superiores ao do período futuro na 2ª, 3ª e 4ª região e inferior na 1ª região. O cenário B2a tem máximos mensais menos acentuado que o cenário A2a. No Outono (*ver Tab. 3*), o período de referência, tem máximos mensais superiores ao do período futuro e o cenário B2a apresenta máximos mensais superiores ao do cenário A2a.

Os máximos mensais da velocidade máxima diária do vento, no Inverno (*ver Tab. 4*), no período de referência, são inferiores ao do período futuro e são mais forte no cenário B2a que no cenário A2a. Na Primavera e no Verão (*ver Tab. 5 e 6*), este parâmetro, no período de referência, tem valores inferiores ao período futuro, apenas para o cenário A2a, e este cenário apresenta valores máximos mensais da velocidade do vento superiores ao cenário B2a. No Outono (*ver Tab. 3*), o período de referência, possui valores deste parâmetro superiores ao período futuro, e estes máximos de velocidade do vento no cenário B2a tem valores superiores aos do cenário A2a.

Também se teve em conta a variabilidade que foi estudada através do desvio padrão, estudo efectuado nas quatro regiões e para as quatro estações do ano. Assim, relativamente à média mensal das temperaturas máximas e mínimas diárias, verificou-se, que a variabilidade é superior no cenário A2a, com uma pequena variação na média mensal das máximas, no Outono, onde aqui a variabilidade é superior no período de referência (*ver Tab. 7, 8, 9 e 10*). Há variações na variabilidade, relativamente aos valores do cenário B2a e do período de referência. Assim, no Inverno (*ver Tab. 8*), o cenário B2a apresenta uma variabilidade destes máximos maior na 2ª e 3ª região e menor na 1ª e 4ª região, relativamente aos valores do período de referência. Já na Primavera (*ver Tab. 9*), a variabilidade destes parâmetros no período de referência é superior ao do cenário B2a. No Verão (*ver Tab. 10*), a variabilidade dos valores do cenário B2a é superior à do período de referência. No Outono (*ver Tab. 7*), estes parâmetros tem um comportamento diverso, sendo que a média mensal das mínimas tem maior variabilidade no cenário B2a na 1ª e 3ª região e média mensal das máximas tem uma variabilidade em todas as regiões superior no período de referência.

No que respeita ao máximo mensal das temperaturas máximas diárias, há uma maior variabilidade no cenário A2a no Inverno e Verão e no cenário B2a na Primavera e Outono. No Inverno (*ver Tab. 8*), a variabilidade deste máximo no cenário B2a apresenta-se maior na 1ª, 2ª e 3ª região e menor na 4ª região, relativamente ao período de referência. Na Primavera (*ver Tab. 9*), este parâmetro, no cenário A2a tem uma variabilidade superior ao do período de referência em todas as regiões. No Verão (*ver Tab. 10*), no cenário B2a, estes máximos, tem uma maior variabilidade que no período de referência na 3ª e 4ª regiões. Já no Outono, o máximo mensal de temperatura máxima no cenário A2a tem menor variabilidade que no período de referência.

A variabilidade da mínima mensal das temperaturas mínimas diárias é superior no período de referência, no Inverno (*ver Tab. 8*), sendo a variabilidade destes mínimos no cenário A2a maior que o cenário B2a, na 1ª e na 4ª região e menor, na 2ª e 3ª região. Na Primavera (*ver tab. 12*), a variabilidade deste parâmetro é superior no cenário A2a na 1ª e 3ª região e no período de referência na 2ª e 4ª região. No Verão (*ver Tab. 10*), estes mínimos tem maior variabilidade no cenário B2a. A variabilidade da mesma no cenário A2a, embora menor que a no cenário B2a, é maior que no período de referência. No Outono (*ver Tab. 7*), a variabilidade do mínimo mensal das temperaturas mínimas é superior no cenário A2a, seguido do período de referência.

A variabilidade do parâmetro máximo mensal da precipitação diária é superior no cenário A2a nas três primeiras regiões, no Inverno (*ver Tab. 10*). No período de referência este parâmetro tem maior variabilidade que no cenário B2a. Na Primavera (*ver Tab. 9*) à uma maior variabilidade deste parâmetro no período de referência na 1ª região, no cenário A2a na 2ª região e no cenário B2a na 3ª e 4ª regiões. No Verão (*ver Tab. 10*), este parâmetro, tem maior variabilidade na 2ª, 3ª e 4ª região no período de referência, e no cenário A2a na 1ª região. No Outono (*ver Tab. 7*), no cenário B2a, o parâmetro, tem uma maior

Outubro																		
Regiões	MeanTmin (°C)		Meantmax (°C)		MaxDP (mm)		MaxWM (km/h)		MinTmin (°C)		MaxTmax (°C)							
	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a						
1ª Região Braga Coimbra	10.90	14.40	13.06	21.02	21.01	23.58	30.75	26.52	27.27	26.15	24.92	25.83	4.58	7.77	6.80	27.58	33.22	32.15
2ª Região Rio Maior Lisboa	13.10	16.33	15.14	22.34	25.66	24.64	21.41	15.50	16.81	30.77	29.92	32.16	7.79	11.23	10.05	28.38	33.15	32.29
3ª Região Bragança Elvas Beja	9.59	13.43	11.92	20.26	24.58	23.03	20.91	16.46	18.88	29.03	27.98	28.58	2.27	7.22	6.23	26.66	32.52	31.18
4ª Região Beja Sagres	12.57	16.33	15.12	23.90	27.89	26.51	13.08	9.15	10.52	30.61	30.08	30.98	6.17	9.86	8.74	29.39	34.57	33.19

Tab. 3) Comparação da simulação do período de referência (*ref*) com as simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Outubro na estação do Outono.

Regiões	Janeiro															
	MeanTmin (°C)		Meantmax (°C)		MaxDP (mm)		MaxWM (km/h)		MinTmin (°C)		MaxTmax (°C)					
	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a				
1 Região Braga Coimbra	4.40	7.19	6.10	12.22	14.70	13.79	46.22	27.21	27.49	28.37	-1.86	1.12	-0.01	15.42	18.66	17.78
2 Região Rio Maior Lisboa	6.10	8.88	7.91	14.03	16.63	15.75	22.88	30.56	31.37	32.27	-0.24	3.11	2.12	16.94	19.98	19.34
3 Região Bragança Elvas Bigorne	2.27	5.31	4.18	10.75	13.52	12.52	23.77	29.73	30.51	30.96	-3.45	-0.30	0.43	14.08	17.58	16.49
4 Região Beja Sagres	4.43	7.47	6.55	15.03	17.84	16.94	14.54	33.35	32.56	33.72	-2.68	1.17	0.16	18.23	21.46	20.83

Tab. 4) Comparação da simulação do período de referência (*ref*) com as simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Janeiro na estação do Inverno.

Abril																		
Regiões	MeanTmin (°C)			Meantmax (°C)			MaxDP (mm)			MaxWM (km/h)			MinTmin (°C)			MaxTmax (°C)		
	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a
1ª Região Braga Coimbra	7.04	9.91	8.82	17.23	20.59	18.88	22.73	23.14	22.00	26.91	27.91	25.72	1.20	3.74	2.89	25.03	29.02	27.45
2ª Região Rio Maior Lisboa	9.43	12.31	11.10	18.83	21.97	20.39	13.06	13.07	12.42	35.36	37.35	34.23	4.73	7.72	6.75	26.89	30.86	29.25
3ª Região Bragança Elvas Bigorne	5.97	9.30	7.97	17.19	21.07	19.27	13.39	12.50	14.85	30.82	31.38	29.95	0.51	3.57	2.36	24.80	29.56	27.65
4ª Região Beja Sagres	9.34	12.67	11.20	21.55	25.32	23.61	9.64	6.44	8.90	35.04	35.53	33.70	3.23	6.92	5.57	29.12	33.29	31.55

Tab. 5) Comparação da simulação do período de referência (*ref*) com as simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Abril na estação da Primavera.

Regiões	Julho																	
	MeanTmin (°C)		Meantmax (°C)		MaxDP (mm)		MaxWM (km/h)		MinTmin (°C)		MaxTmax (°C)							
	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a						
1ª Região Braga Coimbra	16.27	20.60	19.59	30.80	35.28	34.64	4.55	4.82	4.75	27.57	27.81	27.02	10.93	15.09	14.20	39.63	44.25	43.59
2ª Região Rio Maior Lisboa	16.92	19.98	19.07	28.40	31.63	31.17	2.63	2.39	1.37	37.46	37.24	35.62	13.22	16.63	15.89	38.16	41.44	41.02
3ª Região Bragança Elvas Bigorne	16.79	22.09	21.08	31.52	37.65	37.10	5.30	3.64	3.21	27.68	28.44	28.30	10.85	15.92	15.02	39.35	44.35	43.46
4ª Região Beja Sárges	18.26	22.13	21.35	33.39	37.27	36.85	1.53	0.95	1.71	30.78	31.06	29.73	13.49	17.26	16.38	39.63	44.08	43.32

Tab. 6) Comparação da simulação do período de referência (*ref*) com as simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Julho na estação do Verão.

Outubro																			
Regiões	MeanTmin (°C)			Meantmax (°C)			MaxDP (mm)			MaxWM (km/h)			MinTmin (°C)			MaxTmax (°C)			
	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	
1ª Região																			
Braga	1.38	1.68	1.43	2.22	2.13	1.97	32.97	34.19	35.35	4.57	3.53	4.05	2.03	2.20	1.75	3.37	2.80	3.49	
Coimbra																			
2ª Região																			
Rio Maior	1.05	1.38	0.97	2.00	1.78	1.68	16.78	14.04	15.54	3.73	3.61	4.04	2.27	1.77	1.30	3.14	2.88	3.27	
Lisboa																			
3ª Região																			
Bragança	1.29	1.62	1.46	2.17	2.12	2.08	16.81	15.86	20.13	4.21	4.22	4.15	2.10	2.12	1.90	3.21	2.75	3.46	
Elvas																			
Bigorne																			
4ª Região																			
Beja	1.57	1.78	1.48	2.01	1.92	1.83	8.98	11.12	10.86	3.44	4.18	3.32	2.50	2.73	1.92	2.76	2.22	2.74	
Sagres																			

Tab. 7) Comparação da variabilidade (desvio padrão) da simulação do período de referência (ref) com a variabilidade das simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Outubro na estação do Outono.

Regiões	Janeiro																	
	MeanTmin (°C)			Meantmax (°C)			MaxDP (mm)			MaxWM (km/h)		MinTmin (°C)		MaxTmax (°C)				
	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a			
1ª Região Braga Coimbra	1.57	1.76	1.51	1.07	1.43	1.06	34.06	35.85	33.17	4.88	5.44	4.61	2.56	2.20	1.82	1.32	2.18	1.45
2ª Região Rio Maior Lisboa	1.28	1.70	1.54	0.88	1.19	0.92	18.45	23.91	15.06	6.55	5.77	6.75	1.76	1.76	1.77	1.11	1.84	1.56
3ª Região Bragança Elvas Beja	1.35	1.63	1.58	1.05	1.39	1.01	18.44	25.17	21.93	5.29	5.71	6.10	1.70	1.56	1.73	1.15	2.05	1.25
4ª Região Beja Sagres	1.92	2.16	1.61	1.33	1.52	1.12	14.93	10.74	12.88	8.32	5.26	7.48	3.19	2.87	2.09	1.63	2.09	1.56

Tab. 8) Comparação da variabilidade (desvio padrão) da simulação do período de referência (*ref*) com a variabilidade das simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Janeiro na estação do Inverno.

Abril																		
Regiões	MeanTmin (°C)			Meantmax (°C)			MaxDP (mm)		MaxWM (km/h)			MinTmin (°C)		MaxTmax (°C)				
	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	A2a	B2a	Model	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	ref	A2a	B2a	
1ª Região Braga Coimbra	1.37	1.91	1.21	2.48	2.93	2.30	25.36	23.12	21.59	3.47	3.20	2.35	1.86	2.12	1.59	3.12	3.96	4.08
2ª Região Rio Maior Lisboa	1.35	1.61	1.00	2.59	2.74	2.28	10.03	12.63	11.39	4.33	4.51	3.55	1.47	1.36	1.20	4.15	4.36	4.66
3ª Região Bragança Elvas Beja	1.38	1.96	1.32	2.88	3.23	2.80	13.20	10.81	14.72	3.11	3.66	2.96	1.79	1.87	1.38	3.63	3.78	4.62
4ª Região Sagres	1.72	2.03	1.55	3.10	2.99	2.76	9.39	6.88	10.22	4.71	4.20	3.75	2.13	1.86	1.77	3.77	3.35	4.39

Tab. 9) Comparação da variabilidade (desvio padrão) da simulação do período de referência (*ref*) com a variabilidade das simulações do período futuro dos cenários SRES A2a e B2a, no mês de Abril na estação da Primavera.

variabilidade na 1ª e 3ª região, no cenário A2a, na 4ª região e no período de referência na 2ª região.

A variabilidade do parâmetro máximo mensal da velocidade máxima diária do vento, é superior no cenário B2a na 2ª e 3ª região, no cenário A2a na 1ª região e no período de referência na 4ª região, no Inverno (*ver Tab. 8*). Na Primavera (*ver Tab. 9*), a variabilidade deste parâmetro é superior no período de referência, na 1ª e 4ª região e no cenário A2a, na 2ª e 3ª região. No Verão (*ver Tab. 10*), estes máximos, tem maior variabilidade no período de referência, seguindo-se no cenário A2a. No Outono (*ver Tab. 7*), no período de referência o parâmetro tem uma maior variabilidade na 1ª região, no cenário B2a na 2ª região e no cenário A2a na 3ª e 4ª regiões.

4.3 Validação/comparação dos valores acima de limiares críticos

Analisando agora, o estudo descrito no ponto 2) da metodologia, verificou-se que o modelo HadRM3 simula um maior número de dias quentes, do que o observado na natureza, elevando-os para o dobro nas simulações futuras, mostrando um cenário A2a mais quente que o B2a. O modelo representa bem o ciclo consecutivo de dias quente e indica que o mesmo ciclo não varia no futuro (*ver Tab. 11*).

<i>Índices</i>	<i>Ref</i>	<i>Estação</i>	<i>A2a</i>	<i>B2a</i>
<i>Consecutivos TMAX>30°C</i>	3 dias	3 dias	3 dias	3 dias
<i>Dias Verão</i>	61 dias	37 dias	112 dias	99 dias
<i>Noites tropicais</i>	19 dias	3 dias	67 dias	51 dias

Tab. 11) Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os limiares fixos correspondente a cada índice descrito, para as altas temperaturas, relativos à simulação de referência do HadRM3 (*ref*), aos valores observados (*Estação*) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.

O HadRM3 simula também, um maior número de noites frias do que nos indicam as observações (*ver Tab. 12*), estimando um decréscimo das mesmas, para metade, no período futuro. Mostrando um cenário B2a com mais noites frias por ano que o A2a. Representa bem o ciclo consecutivo de noites frias indicando um decréscimo deste no futuro (*Tab. 12*).

O modelo HadRM3 simula bem o número de dias com precipitações acentuadas, indicando um decréscimo de um dia de precipitação intensa, no futuro, para o cenário B2a e de menos dois dias para o cenário A2a (*ver Tab. 13*). Comparando o valor da precipitação máxima anual, entre a simulação de referência e valor o observado, verifica-se ser de 6mm, superior na simulação, e constata-se que o cenário B2a tem um valor de precipitação máxima anual mais elevado que o do cenário A2a (*ver Tab. 13*).

<i>Índices</i>	<i>Ref</i>	<i>Estação</i>	<i>A2a</i>	<i>B2a</i>
<i>Noites frias</i>	14 noites	9 noites	3 noites	6 noites
<i>Consecutivos TMIN<0°C</i>	2 dias	2 dias	1 dia	1 dia

Tab. 12) Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os limiares fixos correspondente a cada índice descrito, para as baixas temperaturas, relativos à simulação de referência do HadRM3 (*ref*) aos valores observados (*Estação*) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.

<i>Índices</i>	<i>Ref</i>	<i>Estação</i>	<i>A2a</i>	<i>B2a</i>
<i>Prec ≥20mm</i>	9 dias	10 dias	7 dias	8 dias
<i>Prec ≥25mm</i>	6 dias	6 dias	5 dias	5 dias
<i>Máximo 1 dia</i>	51mm	45mm	52mm	56mm
<i>Máximo 5 dias</i>	99mm	89mm	94mm	95mm

Tab. 13) Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os limiares fixos correspondentes a cada índice descrito, para a precipitação, relativos à simulação de referência do HadRM3 (*ref*), aos valores observados (*Estação*) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.

O modelo simula bem a velocidade máxima do vento, apontado para um aumento da mesma no futuro (*ver Tab. 14*).

<i>Índices</i>	<i>Ref (Wmean)</i>	<i>Estação</i>	<i>Ref (Wmax)</i>	<i>A2a</i>	<i>B2a</i>
<i>Máx vento>75.6 km/h</i>	-	-	-	-	-
<i>Vento máx mais elevado ano</i>	25km/h	27km/h	38km/h	38km/h	38km/h

Tab. 14) Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os limiares fixos, dos índice descrito, para a velocidade do vento, relativos à simulação de referência (*ref*), aos valores observados (*Estação*) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.

4.4 Validação/comparação dos valores acima/abaixo de percentis críticos

No estudo efectuado para os valores que excedem percentis e indicado em 3) na metodologia, obtiveram-se os seguintes resultados, mas, tendo em consideração que não foi possível validar a simulação de referência com as observações, por apresentarem valores de percentis dispares e assim apenas se teve acesso aos resultados das simulações de

referência e futuras por ter sido usado o mesmo percentil. Desta forma, as simulações indicam, que há um maior número de dias muito quentes em Janeiro e Julho no cenário A2a, do que no cenário B2a (ver Tab. 15). Que não há dias muito frios nem ondas frias nos cenários futuros (ver Tab. 16). Que há um decréscimo do número de dias de precipitação moderada no futuro, mas, igual número de dias com precipitação intensa no futuro no cenário B2a e um decréscimo de um dia, no cenário A2a, quando comparado com o período de referência (ver Tab. 17). As simulações mostram que não há variação do número de dias com velocidades de vento fortes no período de referência e no futuro (ver Tab. 18).

Índices	Percentis diferentes		Mesmo percentil		
	Ref	Estação	Ref	A2a	B2a
<i>TMIN</i> acima do percentil 95 de longo termo - Janeiro	-	-	2 dias	6 dias	2 dias
<i>TMAX</i> acima do percentil 95 de longo termo - Julho	-	-	2 dias	9 dias	7 dias

Tab. 15) Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os valores de percentis, correspondentes a cada índice descrito, para as altas temperaturas, para Portugal Continental, relativos à simulação de referência do HadRM3 (*ref*), aos valores observados (*Estação*) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.

Índices	Percentis diferentes		Mesmo percentil		
	Ref	Estação	Ref	A2a	B2a
<i>TMAX</i> abaixo do percentil 5 de longo termo - Janeiro	-	-	2 dias	0 dias	0 dias
<i>TMIN</i> abaixo do percentil 5 de longo termo - Janeiro	-	-	1 dia	0 dias	0 dias
ONDA FRIA <i>TMIN</i> abaixo do percentil 10 de longo termo	-	-	1 o.f.	0 o.f.	0 o.f.

Tab. 16) Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os valores de percentis, correspondentes a cada índice descrito, para as baixas temperaturas, para Portugal Continental, relativos à simulação de referência do HadRM3 (*ref*), aos valores observados (*Estação*) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.

Índices	Percentis diferentes		Mesmo percentil		
	Ref	Estação	Ref	A2a	B2a
<i>PREC acima do percentil 75 de longo termo</i>	-	-	37 dias	26 dias	29 dias
<i>PREC acima do percentil 95 de longo termo</i>	-	-	7 dias	6 dias	7 dias

Tab. 17) Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os valores de percentis, correspondentes a cada índice descrito, para a precipitação, para Portugal Continental, relativos à simulação de referência do HadRM3 (*ref*), aos valores observados (*Estação*) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a

Índices	Percentis diferentes		Mesmo percentil		
	Ref	Estação	Ref	A2a	B2a
<i>VENTO MAX excede o percentil 95 de longo termo</i>	-	-	17 dias	17 dias	17 dias

Tab. 18) Validação/comparação do número de dias que ultrapassam os valores de percentis, correspondentes a cada índice descrito, para a velocidade do vento, para Portugal Continental, relativos à simulação de referência do HadRM3 (*ref*), aos valores observados (*Estação*) e às simulações futuras para os cenários A2a e B2a.

4.5 Validação/comparação dos parâmetros de forma da Distribuição Generalizada de Valor Extremo

Através do parâmetro forma, parâmetro que nos indica o tipo de cauda das distribuições generalizadas de valor extremo, podemos avaliar qual a probabilidade de acontecimento de um valor extremo, pois este indica não só a que tipo de distribuição a que pertencem os valores estudados, assim como a sua maior ou menor tendência para este acontecimento. Assim, podemos considerar as seguintes distribuições a que se ajustam os parâmetros físicos indicados em 4) na metodologia, por ordem crescente de probabilidade de acontecimento de evento extremo, as distribuições de Gumbel, Weibull e por último a Fréchet. O parâmetro forma das distribuições de Weibull e Fréchet tem varias formas, entre um tipo de cauda mais extensa ou de um tipo que cai rapidamente para zero. Assim para valores do parâmetro forma mais próximos de zero a cauda da distribuição cai rapidamente para zero e para outros valores do parâmetro forma próximos de -1 (numa Weibull) ou muito superiores a 0 (numa Fréchet) a cauda da distribuição tem uma maior/enorme (Weibull/Fréchet) probabilidade de evento extremo.

No estudo do valor máximo de cada mês de Julho da temperatura máxima diária, anual, verifica-se que a distribuição ajustada é uma weibull, para as 3 simulações e para a observação, e que, os parâmetros forma da simulação de referência não se ajustam à da observada, pois tem uma maior probabilidade de eventos extremos no litoral norte e na observada, na Estremadura e Alentejo. Nas simulações futuras, o modelo estima que os eventos extremos no cenário A2a tem maior probabilidade no litoral norte e no cenário B2a tem uma probabilidade bastante forte na Estremadura.

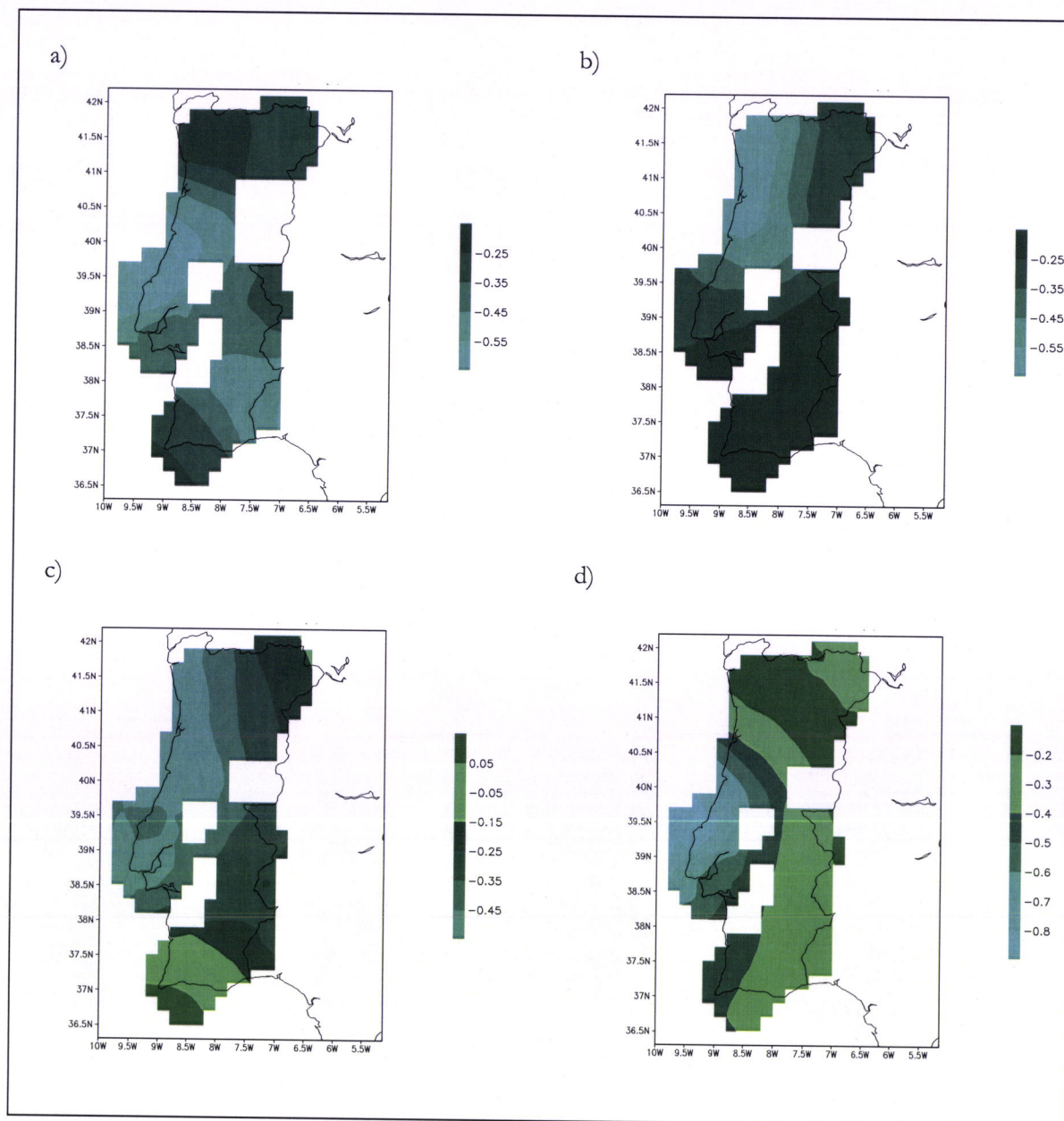


Fig. 2) Distribuição do parâmetro de forma em Portugal continental, para amostras de máximos anuais das temperaturas máximas diárias no mês de Julho. Valores na legenda, negativos correspondem a distribuições de Weibull, positivos a distribuições de Fréchet e o valor correspondente a zero à distribuição de Gumbel. Parâmetros de forma da amostra, a) de valores Observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a.

Para o valor mínimo de cada mês de Janeiro da temperatura mínima diária, anual, os parâmetros de forma das simulações e do observado apresentam um ajuste às distribuições de Gumbel, Weibull e Fréchet. As distribuições da simulação de referência não se ajustam às distribuições observadas, pois, as zonas de maior probabilidade de extremos, devidas a distribuições Weibull, são para a simulação nas Beiras e Trás-os-Montes e na observação no Algarve, Beira Litoral e Douro. Nas simulações futuras temos um cenário A2a ajustado às distribuições de Gumbel e de Fréchet, sem grande probabilidade de acontecimento

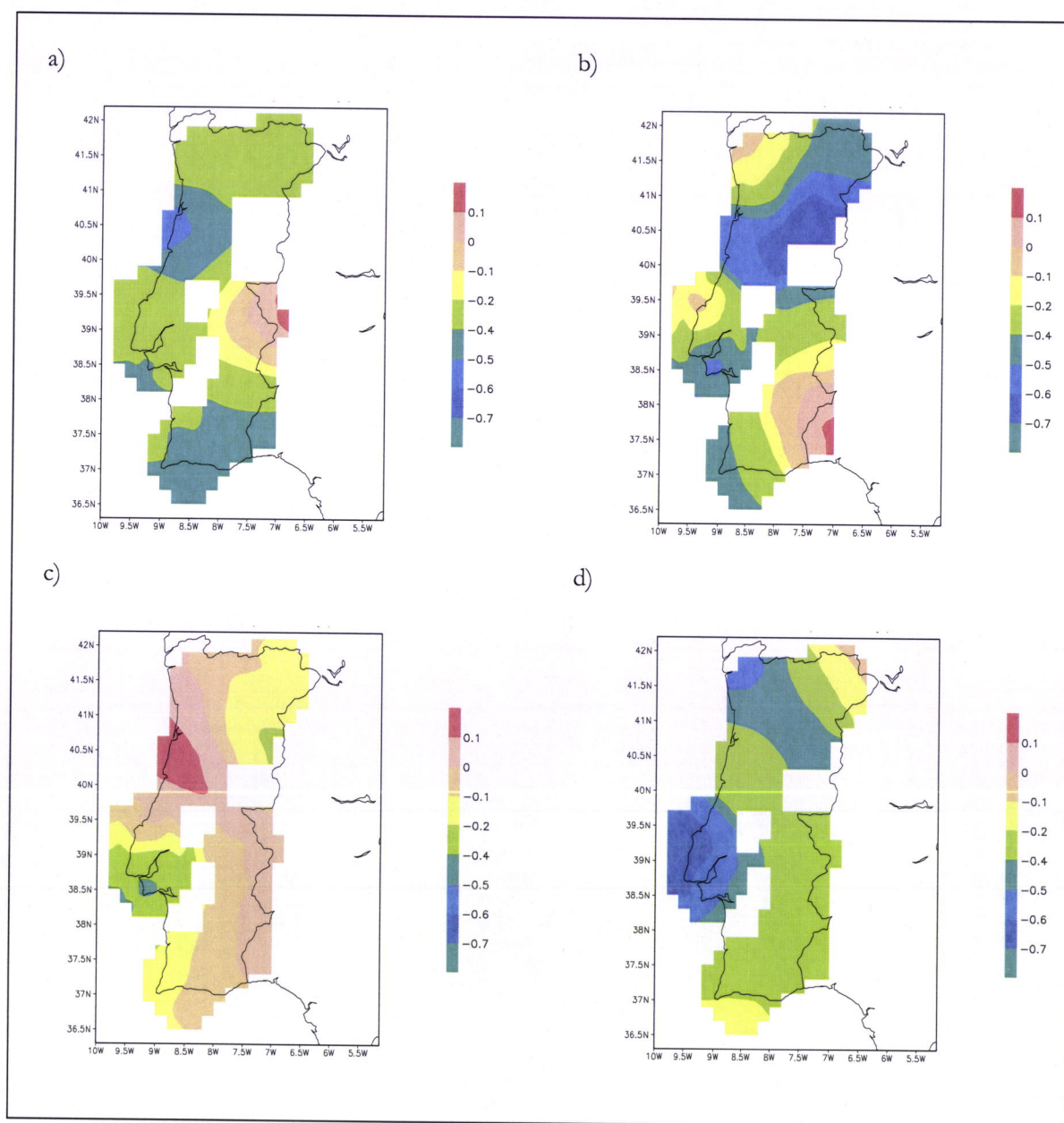


Fig. 3) Distribuição do parâmetro de forma em Portugal continental, para amostras de mínimos anuais das temperaturas mínima diárias no mês de Janeiro. Valores na legenda, negativos correspondem a distribuições de Weibull, positivos a distribuições de Fréchet e o valor correspondente a zero à distribuição de Gumbel. Parâmetros de forma da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a.

extremo e um cenário B2a ajustado a distribuições Weibull, com forte probabilidade de evento extremo na Estremadura, Beiras e Minho. O valor máximo de precipitação sazonal de cada ano, está representado pelas distribuições de Weibull Gumbel e Fréchet. Na simulação de referência a zona de maior probabilidade de acontecimento extremos está representada por distribuições Fréchet e situa-se em Trás-os-montes, bem diferente do que nos indica a observação com um centro de grande probabilidade no Algarve. Apresenta um cenário A2a com grande probabilidade de evento extremo, devido a distribuições Fréchet, no bordo interior do baixo Alentejo e um cenário B2a com a mesma probabilidade no bordo interior do Alto Alentejo.

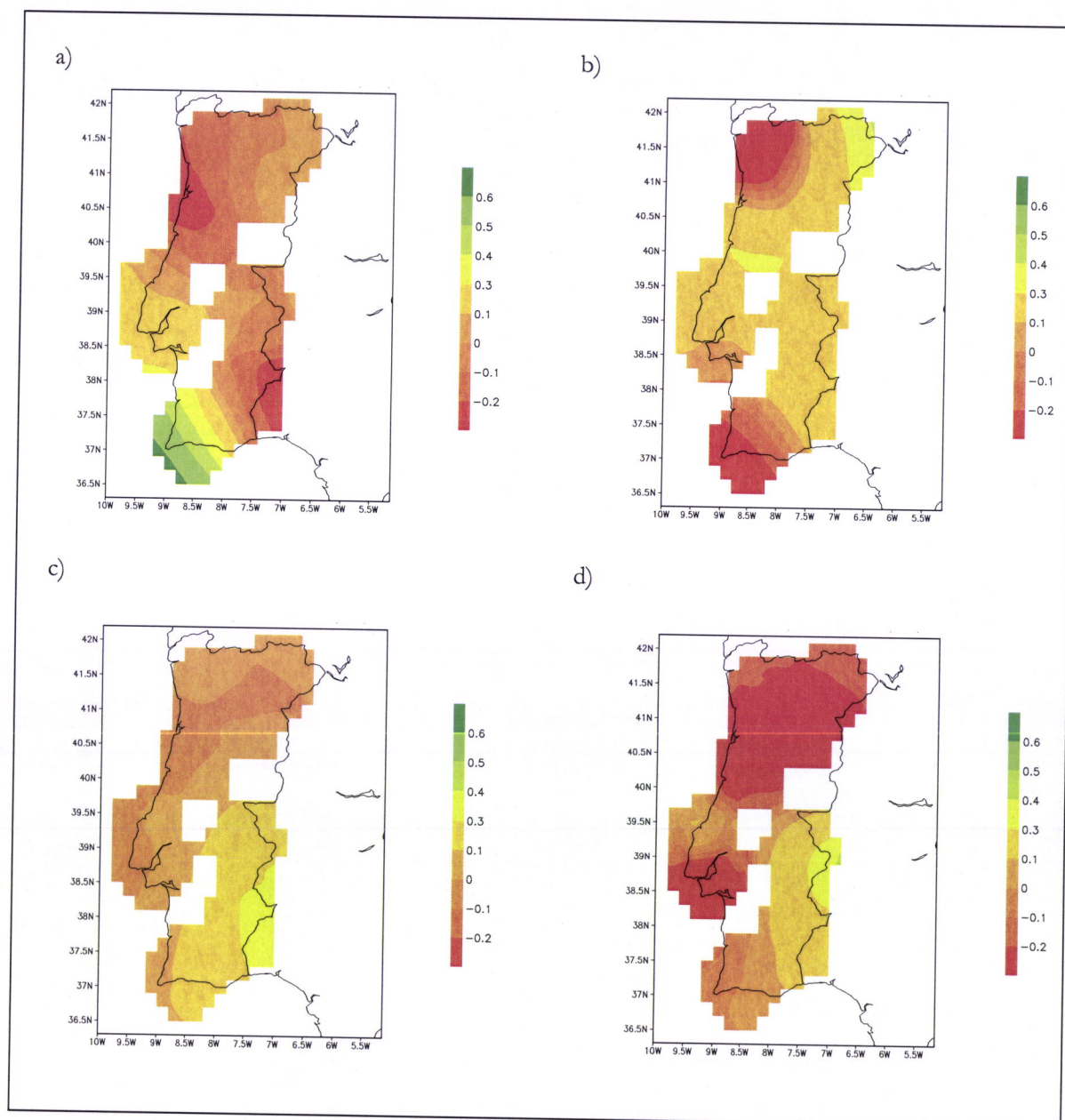


Fig. 4) Distribuição do parâmetro de forma em Portugal continental, para amostras de máximos anuais da precipitação diária durante o período sazonal compreendido entre os meses de Outubro a Abril. Valores na legenda, negativos correspondem a distribuições de Weibull, positivos a distribuições de Fréchet e o valor correspondente a zero à distribuição de Gumbel. Parâmetros de forma da amostra, a) de valores

observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a.

4.6 Quantificação do parâmetro de forma

Na quantificação dos parâmetros físicos, escolhidos no estudo da GEV, referente ao procedimento 5) da metodologia, obtiveram-se bons resultados quer nos teste efectuados, de Anderson Darling (Tab. 19, 20 e 21) que testa a parte final da cauda, como o de Kolmogorov Smirnov (Tab. 22, 23 e 24) que testa a parte central da distribuição. Assim as distribuições de extremos ajustadas aos parâmetros físicos escolhidos, em cima, são consideradas como estatisticamente aceitáveis. O valor crítico para o teste de Anderson Darling ao nível de confiança de 95% é 2,492 e o valor-p do teste de Kolmogorov Smirnov encontra-se abaixo de 0.05.

<i>Teste de Anderson-Darling - MaxTmax</i>				
<i>Regiões</i>	<i>Modelo</i>	<i>Estação</i>	<i>A2a</i>	<i>B2a</i>
<i>Beja</i>	1.478	1.008	1.311	1.424
<i>Bigorne</i>	1.049	Missing	1.298	1.762
<i>Braga</i>	1.052	1.731	0.975	1.641
<i>Bragança</i>	1.248	1.208	1.472	1.566
<i>Coimbra</i>	1.172	1.218	1.090	1.159
<i>Elvas</i>	1.263	1.145	1.212	1.252
<i>Lisboa</i>	1.281	1.346	1.247	1.026
<i>Rio Maior</i>	1.056	1.254	1.002	1.235
<i>Sagres</i>	1.426	1.603	1.967	1.182

Tab. 19) Resultados do teste de Anderson Darling, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de máximos anuais das temperaturas máximas diárias no mês de Julho para a simulação de referência (*Modelo*), para o observado (*Estação*) e para as simulações futuras (*A2a e B2a*). A verde distribuições de Weibull e a amarelo de Gumbel.

<i>Teste de Anderson-Darling - MinTmin</i>				
<i>Regiões</i>	<i>Modelo</i>	<i>Estação</i>	<i>A2a</i>	<i>B2a</i>
<i>Beja</i>	1.358	1.296	2.354	1.225
<i>Bigorne</i>	1.153	Missing	1.763	1.005
<i>Braga</i>	1.541	1.218	2.151	1.156
<i>Bragança</i>	1.065	1.445	1.943	1.577
<i>Coimbra</i>	1.101	1.017	0.159	1.273
<i>Elvas</i>	1.506	1.988	1.950	1.276
<i>Lisboa</i>	1.250	1.249	1.261	1.120
<i>Rio Maior</i>	1.650	1.883	2.439	1.111
<i>Sagres</i>	1.221	1.065	2.140	1.503

Tab. 20) Resultados do teste de Anderson Darling, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de mínimos anuais das temperaturas mínimas diárias no mês de Janeiro para a simulação de referência (*Modelo*), para o observado (*Estação*) e para as simulações futuras (*A2a e B2a*). A verde distribuições de Weibull, a rosa de Fréchet e a amarelo de Gumbel.

<i>Teste de Anderson-Darling - Precipitação</i>				
<i>Regiões</i>	<i>Modelo</i>	<i>Estação</i>	<i>A2a</i>	<i>B2a</i>
<i>Beja</i>	0.254	1.217	0.264	0.183
<i>Bigorne</i>	0.202	2.274	2.171	1.197
<i>Braga</i>	1.115	1.431	1.868	1.156
<i>Bragança</i>	0.362	1.999	2.653	1.112
<i>Coimbra</i>	0.467	1.428	1.680	1.187
<i>Elvas</i>	0.242	1.871	0.130	0.445
<i>Lisboa</i>	0.140	0.399	3.057	1.401
<i>Rio Maior</i>	0.426	0.901	1.732	1.655
<i>Sagres</i>	1.308	0.765	0.129	2.386

Tab. 21) Resultados do teste de Anderson Darling, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de máximos anuais da precipitação diária sazonal, relativa aos meses de Outubro a Abril, para a simulação de referência (*Modelo*), para o observado (*Estação*) e para as simulações futuras (*A2a e B2a*). A verde distribuições de Weibull, a rosa de Fréchet e a amarelo de Gumbel.

Teste Kolmogorov Smirnov - MaxTmax								
Regiões	Modelo ref		Estação		Futuro A2a		Futuro B2a	
	teste	p-valor	teste	p-valor	teste	p-valor	teste	p-valor
Beja	0.7846	0	0.9852	0	0.8504	0	0.9046	0
Bigorne	0.9282	0	Missi	Missi	0.9126	0	0.809	0
Braga	0.9837	0	0.8451	0	0.9659	0	0.8323	0
Bragança	0.9087	0	0.9054	0	0.8447	0	0.839	0
Coimbra	0.9774	0	0.9642	0	0.9736	0	0.9883	0
Elvas	0.8515	0	0.9364	0	0.9071	0	0.9061	0
Lisboa	0.8475	0	0.9376	0	0.9484	0	0.9869	0
Rio Maior	0.865	0	0.9792	0	0.9145	0	0.9983	0
Sagres	0.823	0	0.8587	0	0.9852	0	0.9427	0

Tab. 22) Resultados do teste de Kolmogorov Smirnov, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de máximos anuais das temperaturas máximas diárias no mês de Julho para a simulação de referência (*Modelo ref*), para o observado (*Estação*) e para as simulações futuras (*Futuro A2a e B2a*). A verde Distribuições de Weibull e a amarelo de Gumbel.

Teste Kolmogorov Smirnov - MinTmin								
Regiões	Modelo ref		Estação		Futuro A2a		Futuro B2a	
	teste	p-valor	teste	p-valor	teste	p-valor	teste	p-valor
Beja	0.9802	0	0.9995	0	0.9661	0	0.9855	0
Bigorne	1	0	Missi	Missi	0.912	0	1	0
Braga	0.9669	0	0.9983	0	0.9660	0	1	0
Bragança	1	0	0.9968	0	0.8422	0	0.9406	0
Coimbra	1	0	0.9999	0	0.9806	0	0.9803	0
Elvas	0.9883	0	0.9661	0	0.9833	0	0.9882	0
Lisboa	0.9999	0	0.9993	0	0.9961	0	1	0
Rio Maior	0.895	0	0.9965	0	0.8202	0	1	0
Sagres	0.9928	0	0.9994	0	0.8101	0	0.9503	0

Tab. 23) Resultados do teste de Kolmogorov Smirnov, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de mínimos anuais das temperaturas mínimas diárias no mês de Janeiro para a simulação de referência (*Modelo ref*), para o observado (*Estação*) e para as simulações futuras (*Futuro A2a e B2a*). A verde Distribuições de Weibull, a rosa de Fréchet e a amarelo de Gumbel.

Teste Kolmogorov Smirnov - Precipitação								
Regiões	Modelo ref		Estação		Futuro A2a		Futuro B2a	
	teste	p-valor	teste	p-valor	teste	p-valor	teste	p-valor
Beja	0.9884	0	0.6715	0	0.9916	0	0.9764	0
Bigorne	0.9728	0	0.9884	0	0.9673	0	0.6534	0
Braga	0.677	0	0.6918	0	0.9511	0	0.6629	0
Bragança	0.9572	0	0.9733	0	0.9858	0	0.6197	0
Coimbra	0.9513	0	0.7299	0	0.9761	0	0.6588	0
Elvas	0.9713	0	0.9558	0	0.9739	0	0.9827	0
Lisboa	0.9639	0	0.9860	0	0.9953	0	0.666	0
Rio Maior	0.9628	0	0.9925	0	0.9743	0	0.9497	0
Sagres	0.6159	0	0.9184	0	0.9856	0	0.9913	0

Tab. 24) Resultados do teste de Kolmogorov Smirnov, aplicado ao parâmetro de forma das amostras de máximos anuais da precipitação diária sazonal, relativa aos meses de Outubro a Abril, para a simulação de referência (*Modelo ref*), para o observado (*Estação*) e para as simulações futuras (*Futuro A2a e B2a*). A verde Distribuições de Weibull, a rosa de Fréchet e a amarelo de Gumbel.

4.7 Validação/comparação de limiares e excedências no estudo da Distribuição Generalizada de Pareto

A distribuição generalizada de Pareto, diagnóstico efectuado como indicado em 6) na metodologia, foi um meio de avaliação dos limiares e suas excedências para as temperaturas máximas diárias para os meses de Verão, e para estas a simulação de referência apresenta um Portugal com um limiar de extremos de 38° C e uma excedência acima dos 110 extremos nos 30 anos de referência, ou seja, de 1 extremo em cada mês do Verão, não coincidente com uma observação, em que, embora a zona centro e interior tenho o mesmo limiar e a mesma excedência, a do Algarve e da Estremadura apresenta um limiar correspondente aos 28°C onde existe um excesso de valores extremos da ordem dos 180 extremos, nos 30 anos de referência, ou visto de uma outra forma, de 2 extremos por mês. Apresenta um cenário A2a e B2a aproximadamente idêntico com limiares acima dos 38°C e excedências acima dos 150 extremos nos 30 anos futuros, isto é, de 2 extremos por mês.

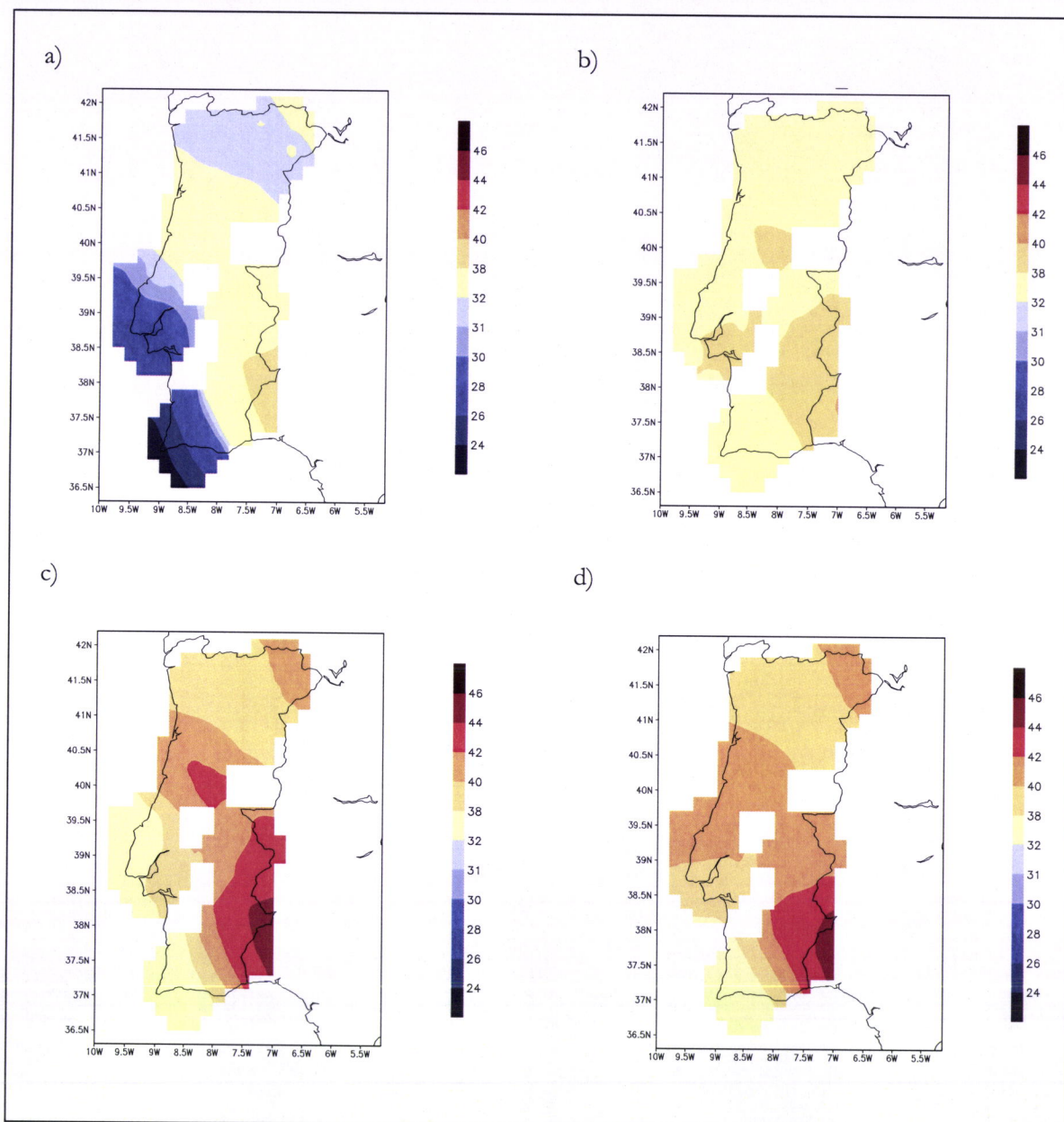


Fig. 5) Distribuição dos limiares em Portugal continental, para a amostra de temperaturas máximas diárias no Verão. Limiares da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a.

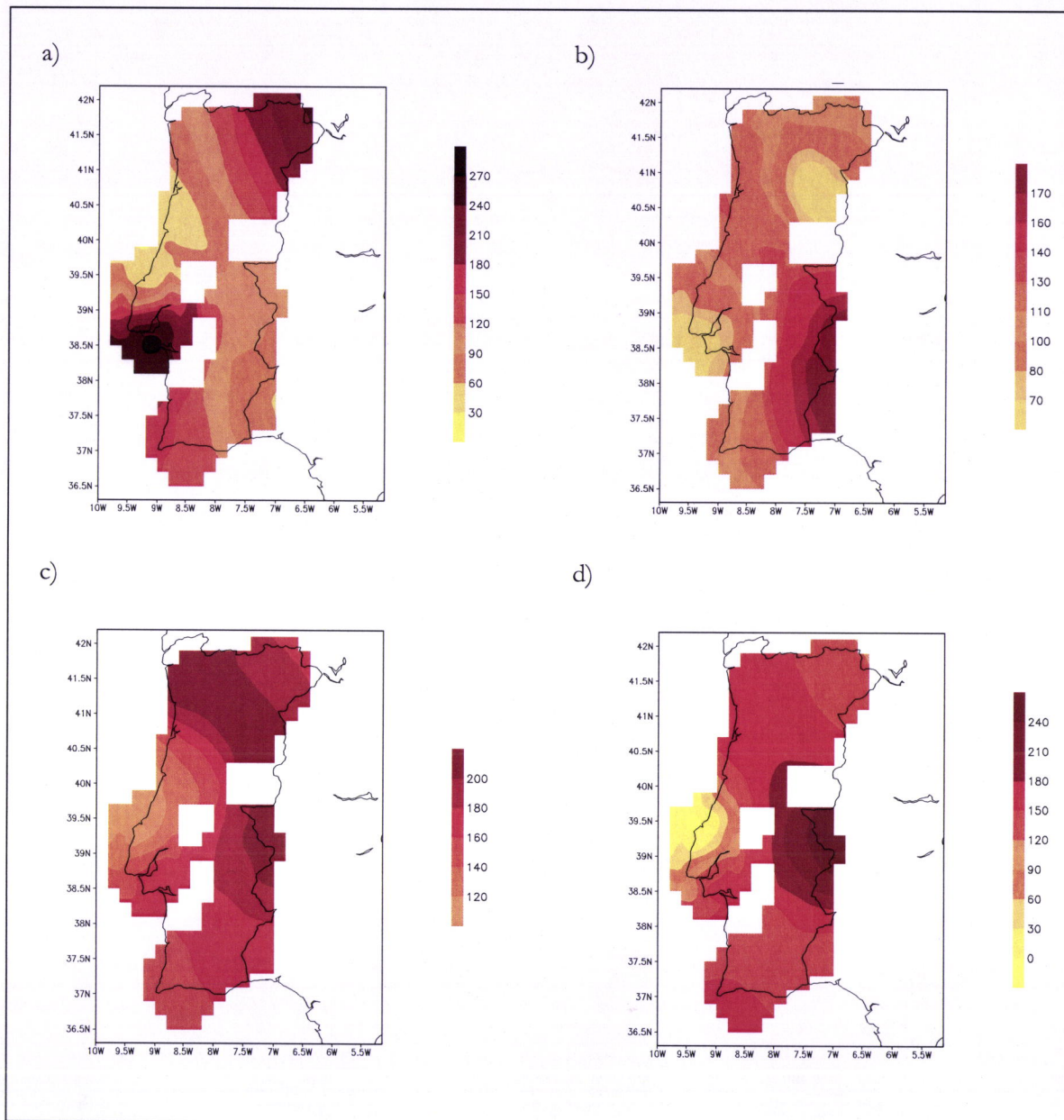


Fig. 6) Distribuição das excedências em Portugal continental, para a amostra de temperaturas máximas diárias no Verão. Excedências da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a.

Para as temperaturas mínimas diárias, para os meses de Inverno, temos uma simulação de referência e observada com limiares aproximados, abaixo de 1°C com excedências da ordem dos 100 extremos nos 30 anos de referência, ou seja, de 1 extremo por mês, excepto no observado na zona do Tejo de 4°C com excedências de 100 casos e na ponta de Sagres de 10°C com excedências acima dos 300 casos de extremos, o que significa, 3 extremos por mês. Temos um cenário A2a com limiares progressivos entre 1°C a norte e os 9°C no centro com excedências 100 e 250 extremos nos 30 anos, ou seja, de 1 e 3 extremos por mês, respectivamente, um cenário B2a com o mesmo limiar no norte de Portugal e um limiar a

Sul, mais baixo, de 6°C, com uma excedência de extremos por todo o território, durante os 30 anos futuros, acima de 100, ou seja, acima de 1 extremo por mês.

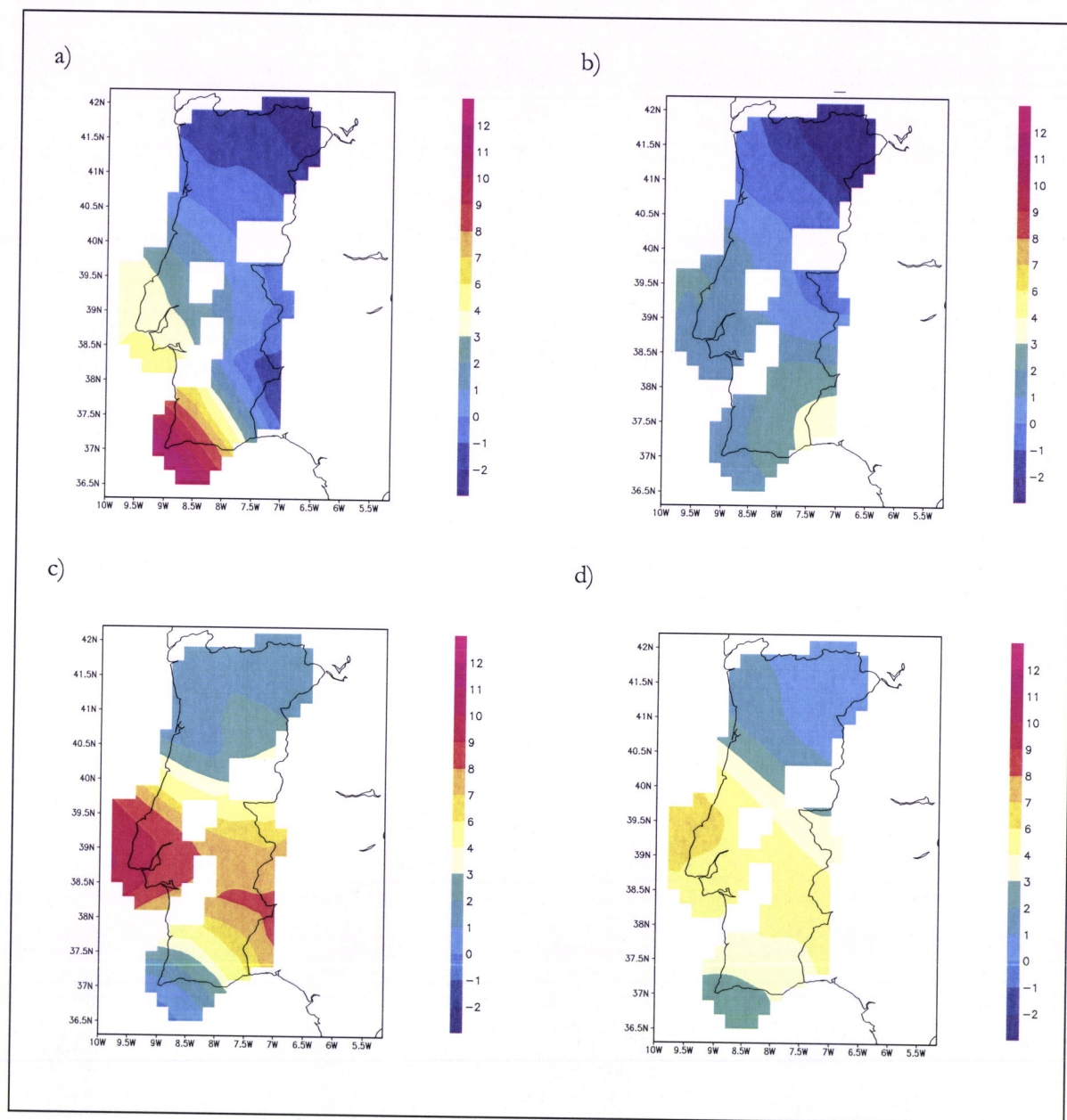


Fig. 7) Distribuição dos limiares em Portugal continental, para a amostra de temperaturas mínimas diárias no Inverno. Limiares da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a.

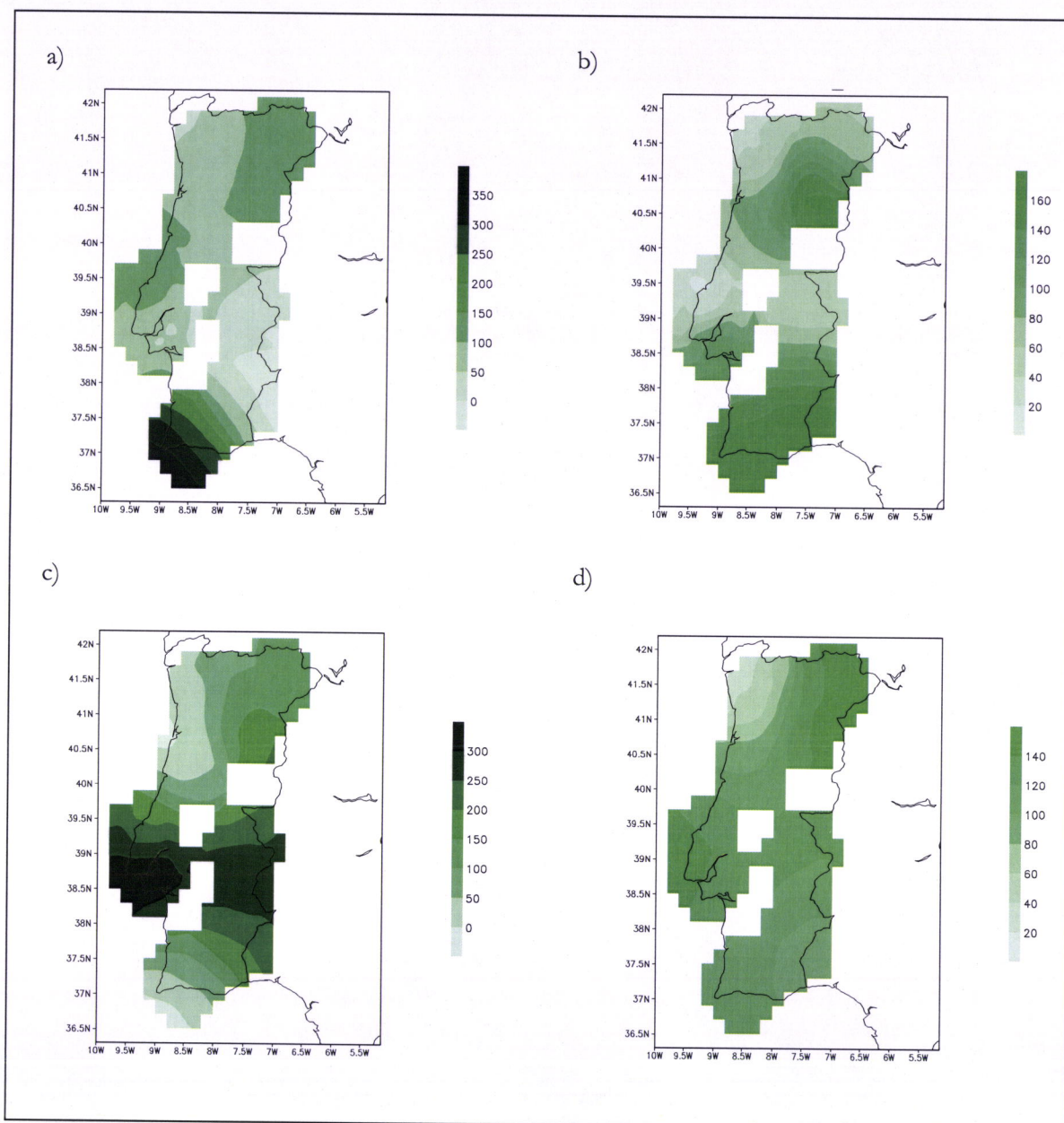


Fig. 8) Distribuição das excedências em Portugal continental, para a amostra de temperaturas mínimas diárias no Inverno. Excedências da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a.

Já no caso da precipitação diárias para o período chuvoso temos uma simulação de referência com um limiar de 22mm na zona centro e Sul de Portugal, com excedências na ordem dos 300, 100 casos, o que equivale a 2 e 1 casos por mês, respectivamente, e de 37mm a 40mm no Minho onde as excedências alcançam os 500 extremos durante os 30 anos de referência, ou seja, 3 extremos por mês durante o período sazonal, na observação há pouca diferença, apenas que estes limiares mais elevados de precipitação se encontram

na zona do Beira Alta com menores excedências, da ordem de 100, 1 extremo por mês, no Sado com excedências da ordem de 150 e no Baixo Alentejo-Algarve da ordem 100 casos. O cenário A2a e B2a tem mesma distribuição de limiares sendo mais elevados no Minho da ordem dos 40mm e no resto do país de 22mm. Quanto às excedências, são da ordem dos 450 extremos no período de 30 anos futuro, da ordem dos 2 extremos mês, no Minho, de 300 extremos no centro e 150 a Sul.

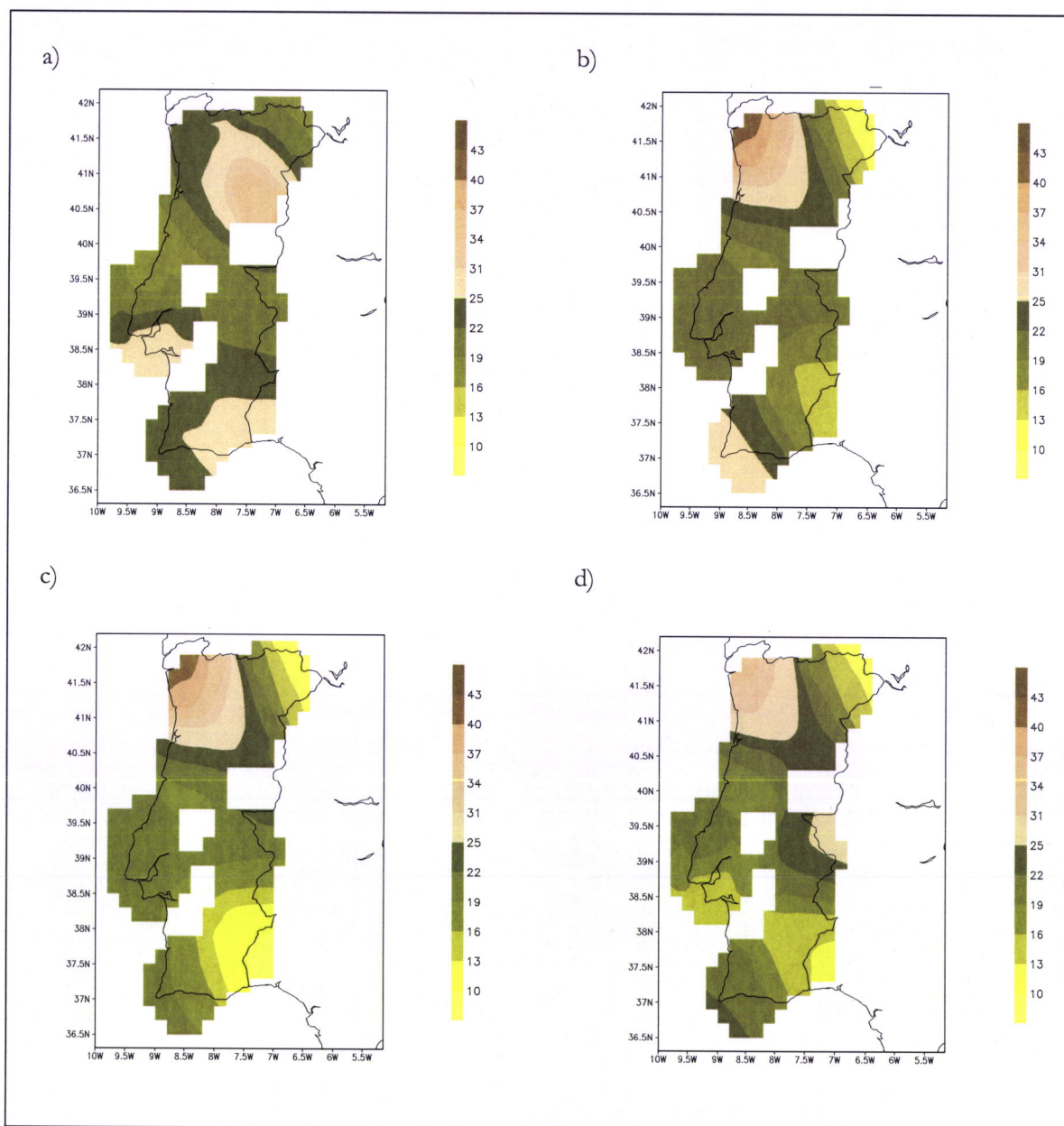


Fig. 9) Distribuição dos limiares em Portugal continental, para a amostra de precipitação diária no período sazonal, relativo aos meses Outubro a Abril. Limiares da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a.

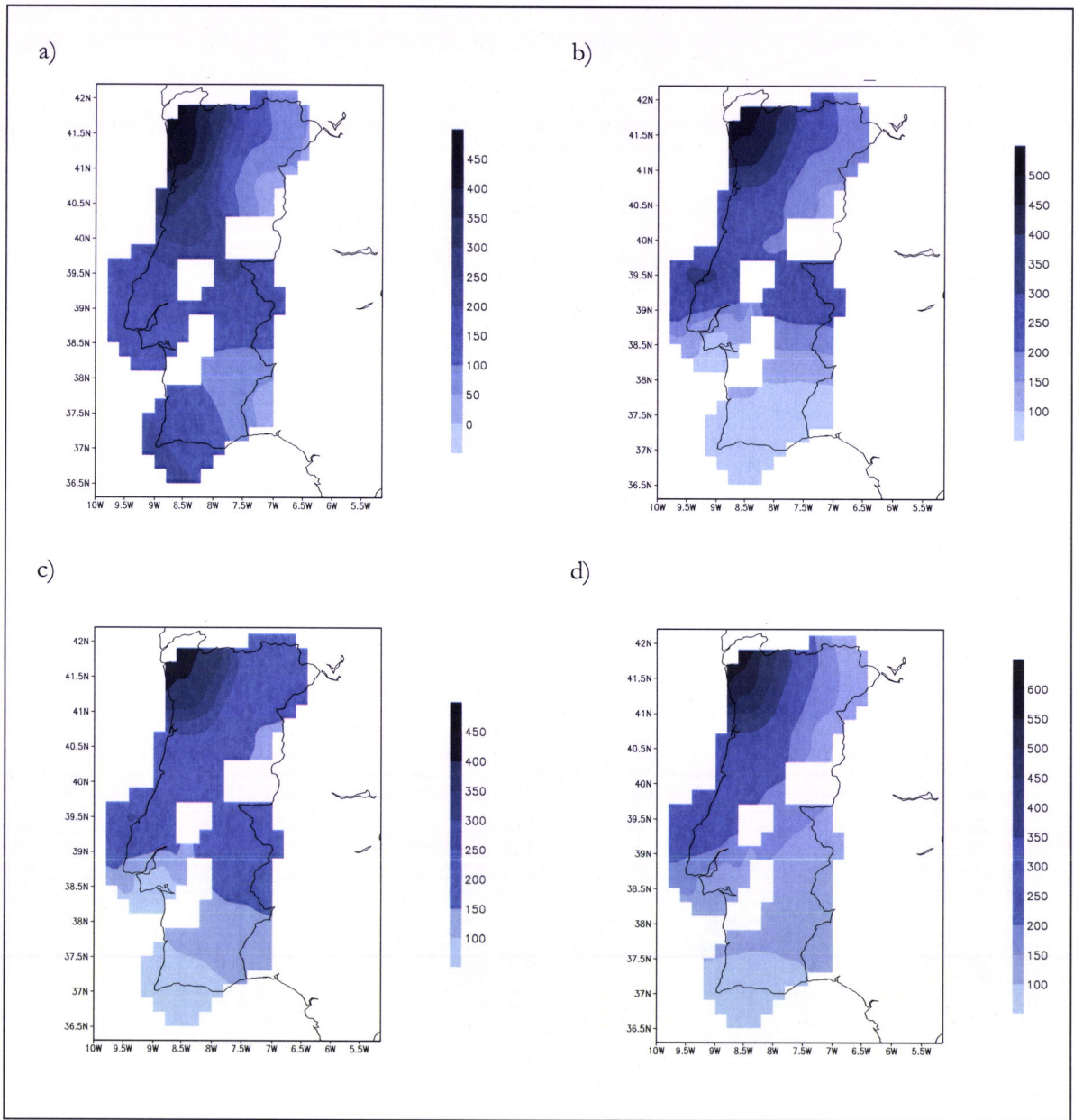


Fig. 10) Distribuição das excedências em Portugal continental, para a amostra de precipitação diária no período sazonal, relativo aos meses Outubro a Abril. Excedências da amostra, a) de valores observados, b) de valores da simulação de referência, c) de valores da simulação do cenário A2a, d) de valores da simulação do cenário B2a.

Capítulo 5. Conclusões

5.1 Conclusão do estudo efectuado

O modelo HadRM3 comporta-se de forma diversificada consoante a estação do ano e a localidade, mas através da cuidadosa análise que foi feita, pode dizer-se que está a subestimar os máximos mensais das variáveis estudadas, que foram, a temperatura máxima e mínima, a precipitação e o vento médio, diários, no Inverno e sobrestima-as no Verão. Nas estações do ano de transição o seu comportamento já não é tão homogêneo. O HadRM3 apresenta um futuro com um acentuado aumento dos valores máximos e médios mensais das temperaturas diárias, nas quatro estações do ano, mais intenso no cenário A2a. Estima um futuro em que os máximos mensais de precipitação diária no Inverno são mais intensos, apresentando um cenário B2a menos intenso que o cenário A2a. Na Primavera estima um decréscimo na intensidade do valor destes extremos, diferenciando estes máximos em ambos os cenários, em duas regiões, litoral e interior, mostrando um cenário A2a mais acentuado na zona litoral e um cenário B2a mais acentuado na zona interior de Portugal. Um Verão, com menores valores deste extremos, apresentando um cenário A2a menos seco que o B2a. O modelo Estima um acréscimo dos valores máximos mensais da velocidade máxima diária do vento, no Inverno, mais acentuada no cenário B2a que no A2a. Na Primavera e no Verão aponta para um acréscimo do valor destes máximos no cenário A2a e um decréscimo no cenário B2a. No Outono, aponta para um decréscimo do valor destes máximos, mostrando um cenário B2a com velocidades máximas mensais da velocidade máxima diária do vento superiores ao do cenário A2a.

A variabilidade temporal de extremos de temperatura, verifica-se que esta é, em geral, maior no futuro e para o cenário A2a. No que respeita a extremos de precipitação, a variabilidade temporal é, em geral, superior no período futuro, para o cenário A2a no Inverno e B2a na Primavera e Outono. Relativamente à variabilidade temporal de extremos da velocidade do vento, estas diferenças no futuro e no período de referência dependem da região do continente considerada e da estação do ano; por ex., na Primavera e no Verão, o máximo mensal da velocidade máxima diária do vento, apresenta, em geral, maior variabilidade no período de referência, em todo o país, e no Outono e no Inverno, particularmente nas regiões costeiras a norte e sul, respectivamente.

O modelo supõe um acréscimo do número de dias quentes no período 2061-100, apresentado um cenário A2a com mais dias quentes que o B2a, preservando o ciclo de três dias consecutivos quentes, avaliando um decréscimo do número de noites frias, relativamente ao qual, apresenta um cenário B2a com mais noites frias que o cenário A2a, e induz um decréscimo do ciclo de duas noites consecutivas frias para uma noite. Aponta para um decréscimo do número de dias de precipitação intensa apresentando, um cenário

B2a mais molhado que A2a, com um máximo anual de precipitação mais elevado no cenário B2a que no A2a. Potencia um aumento da velocidade máxima anual do vento, da ordem dos 38km/h.

O HadRM3 alude a um acréscimo acentuado do número de dias muito quentes em Janeiro e Julho no cenário A2a, e somente em Julho no cenário B2a. Não antevê dias muito frios, em Janeiro, nesse período futuro, nem invasões de ar frio. Indicia um decréscimo do número de dias de precipitação moderada, mostrando um cenário B2a mais molhado que o A2a, e torna invariante no futuro o número de dias com grandes velocidade de vento quando comparado com o século 20.

As distribuições generalizadas de valor extremo das simulações do HadRM3 e referentes ao fim do século 20 não reproduzem com exactidão as observações da mesma época, avaliando para o futuro uma maior probabilidade de acontecimento de valores máximos da temperatura máxima diária, em Julho, devido a distribuições de Weibull, no litoral norte no cenário A2a e na Estremadura no cenário B2a, e para os valores mínimos da temperatura mínima diária, em Janeiro, mostra um cenário A2a sem grande probabilidade de acontecimento destes extremos, ajustado a distribuições Gumbel e Fréchet e um cenário B2a com forte probabilidade devido a distribuições Weibull na Estremadura, Beiras e Minho. Quanto aos extremos relativos ao valor máximo de precipitação sazonal, apresenta-os confinados às regiões do Bordo interior do baixo Alentejo, no cenário A2a e no bordo interior do alto Alentejo para o cenário B2a, devidos ambos a distribuições de Fréchet.

Os testes de Anderson-Darling e de Kolmogorov-Smirnov confirmam serem estatisticamente significativos os ajustamentos de extremos observados e simulados a distribuições teóricas acima descritas.

As simulações e as observações relativas ao período de 1961-90, referentes ao estudo efectuado através da Distribuição Generalizada de Pareto, para a detecção de limiares e excedências, não coincidem, apresentando para o Verão, relativamente aos valores de temperatura máxima, um cenário A2a e B2a com um limiar idêntico de 38°C para todo o Portugal e uma excedência de 150 casos naquele período climático de 2071-100, ou seja, de 2 excedências em cada mês de Verão. Relativamente ao Inverno, a respeito da temperatura mínima diária, temos um cenário A2a e B2a com limiares progressivos, a norte de 1°C e no centro de 9°C e 6°C, respectivamente, com excedências de 100, isto é, de 1 extremo por mês a norte, de 250, 100, ou seja, 3 e 1 extremo por cada mês de Inverno no centro, respectivamente. Já na precipitação sazonal, o cenário a A2a e B2a são idênticos, com os limiares mais elevados, de 40mm, no Minho e com uma excedência de 450 casos no período climático futuro, isto é, 2 extremos em cada mês durante período sazonal.

Referências

Artigos

- Bautista, Ezequiel A. L.(2002). *A Distribuição de Valores Extremos no Estudo da Velocidade Máxima do Vento em Piracicaba, SP*. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11134/tde-24072002-172249/publico/ezequiel.pdf>
- Buishand, T. A. (1989): "*Statistics of Extremes in Climatology*". *Statistica Neerlandica*. **Vol 43 (1)**, 1-30.
- Jenkinson, A. F. (1955). *Frequency Distribution of the annual maximum (or minimum) values of Meteorological elements*. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. **Vol. 81**, 158-171.
- Leadbetter, M. R. (1983). *Extremes and Local Dependence in Stationary-Sequences*. *Zeit. Wahrscheinl-theorie*. **Vol 65**, 291-306.
- McNeil, Alexander J. (1996). *Estimating the Tails of Severity Distributions using Extreme Value Theory*. <http://www.math.ethz.ch/~mcneil/ftp/astin.pdf>.
- Prescott, P. S.; Walden, A. T. (1980). *Maximum likelihood estimation of the parameters of the generalized extreme value distribution.*, *Biometrika*. **Vol. 67**, 723-724.
- Prescott, P. S.; Walden, A. T. (1983). *Maximum Likelihood Estimation of the Parameters of the Three-Parameter Generalized Extreme Value Distribution from Censored Samples*. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. **Vol. 16**, 241-250.
- Smith, R. L. (1985). *Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases*. *Biometrika*. **Vol. 72**, 67-90.
- Stephens, M. A. (1974). *EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons*. *Journal of the American Statistical Association*. **Vol 69**, 730-737.
- Stephens, M. A. (1977). *Goodness of fit for the extreme value distribution..* *Biometrika*. **Vol 64, 3**, 583-588.

Tett, Simon F. B., and all (2000). *Estimation of natural and anthropogenic contributions to 20th Century temperature change*. Hadley Centre Technical Note. The Met. Office. http://www.metoffice.com/research/hadleycentre/pubs/HCTN/HCTN_19.pdf.

Páginas consultadas

<http://www.xycoon.com/pareto.htm>

Livros

Coles, Stuart (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer.

Dudewicz, Eduard J.; Mishra, Staya N. (1988). *Modern Mathematical Statistics*. John Wiley & Sons.

Eadie, W. T.; Drijard, D.; James, F. E.; Roos, M.; Sadoulet, B. (1988). *Statistical Methods in Experimental Physics*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford.

Engineering Statistics, NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/,date>

Gumbel, E. J. (1958). *Statistics of Extremes*. Columbia university Press, New York.

IPCC (2000). *Emission Scenarios*. Cambridge University Press.

IPCC (2001). *Climate Change 2001. The Scientific Basis*. Cambridge University Press

Storch, Hans Von; Zwiers, Francis W. (1999). *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press.