



**FCTUC** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **Identificação de medidas mitigadoras e de adaptação face a Alterações Climáticas em Portugal**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente

**Autor**

**Nuno Ricardo Alves Novo**

**Orientadores**

**Maria Isabel Pedroso de Lima**

**João Luís Pedroso de Lima**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

**Coimbra, Outubro, 2015**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, as minhas palavras de agradecimento vão para os meus orientadores, Professora Doutora Maria Isabel Pedroso de Lima e Professor Doutor João Luís Pedroso de Lima, pela disponibilidade e orientação ao longo da Dissertação.

A todos os meus amigos e colegas, que conheci durante o curso, que fizeram parte desta fase da minha vida, à qual proporcionaram muitos bons momentos e me apoiaram nos momentos mais difíceis. Certamente muitos ficarão para a vida.

Sem esquecer, o especial agradecimento aos meus Pais e ao meu Irmão, por toda a paciência e por todo o esforço que fizeram para que tudo isto pudesse concretizar-se, pois sem eles nada disto seria possível.

## RESUMO

O ambiente e a sociedade têm vindo a deparar-se, em diversas áreas, com grandes impactos das alterações climáticas, manifestadas em variáveis meteorológicas e hidrológicas. Independentemente da origem dessas alterações, natural ou antrópica, é necessário adotar medidas de adaptação que sejam as mais adequadas à escala local/regional e medidas mitigadoras, para minimizar as emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera.

O objetivo principal deste estudo foi dedicar atenção à problemática das alterações climáticas, especialmente de origem antrópica, e às medidas mitigadoras e de adaptação com relevância em Portugal Continental. Pesa aqui o reconhecimento de alterações recentes na variabilidade na precipitação e temperatura do ar em Portugal Continental, a escalas temporais e espaciais pertinentes à identificação de medidas de adaptação adequadas.

Assim, recorreu-se à pesquisa bibliográfica para conhecer e perceber melhor a problemática do efeito das alterações climáticas e, neste âmbito, quais as questões significativas identificadas já pela comunidade científica e técnica. Complementarmente, procedeu-se ao estudo e análise de algumas séries temporais de precipitação e temperatura do ar, pretendendo-se investigar a existência (ou não) de diferenças entre regiões de Portugal Continental nas tendências recentes observadas nessas variáveis. Os resultados foram discutidos e comparados com estudos anteriormente realizados por outros autores. Por fim, identificam-se medidas a adotar, de adaptação e de mitigação.

## **ABSTRACT**

The environment and the society have been facing major impacts of climate change in several areas, manifested in meteorological and hydrological variables. Regardless of the origin of these changes, natural or anthropic, it is necessary to adopt adaptation measures that are the most appropriate at local/regional scale and mitigation measures to minimize the emissions of greenhouse gases into the atmosphere.

The main goal of this study was to devote attention to the problem of climate change, especially of anthropogenic origin, and to the relevant mitigation and adaptation measures in mainland Portugal. Stands out here the recognition of recent changes in the variability in precipitation and air temperature in mainland Portugal, at temporal and spatial scales relevant to the identification of appropriate adaptation measures.

Thus, bibliographic research was used to better understand the effect of climate change and what are the significant issues already identified by the scientific and technical community in this context. A study and analysis of several time series of precipitation and air temperature was attempted, intending to investigate the existence (or not) of differences between regions of mainland Portugal, regarding recent trends in these variables. The results were discussed and compared with previous studies by other authors. Finally, adaptation and mitigation measures were identified.

---

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE QUADROS .....	viii
ABREVIATURAS .....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da Dissertação .....	3
2 ESTADO DA ARTE .....	4
2.1 Alterações Climáticas .....	4
2.1.1 Causas.....	6
2.1.2 Consequências e Impactos.....	10
2.1.3 Tendências Esperadas da Precipitação, Temperatura do ar e Nível médio do mar .....	16
2.2 Medidas de Mitigação.....	20
2.2.1 Zonas Urbanas .....	23
2.2.2 Zonas Rurais .....	25
2.3 Medidas de Adaptação.....	26
2.3.1 Zonas Urbanas .....	30
2.3.2 Zonas Rurais .....	33
2.3.3 Zonas Costeiras .....	34
3 MÉTODOS E MATERIAIS.....	35
3.1 Metodologia .....	35
3.2 Séries Temporais.....	37
3.3 Modelos Aplicados .....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
4.1 Precipitação.....	44
4.2 Temperatura do ar .....	59
4.3 Medidas Mitigadoras e de Adaptação.....	66
5 CONCLUSÕES .....	71
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Temperatura média global da atmosfera à superfície da Terra, representada em termos de anomalia da temperatura (°C) relativamente ao valor médio do período de 1961 a 1990. O intervalo de erro está representado por uma barra (IPCC, 2001a; retirado de Projeto SIAM II, 2006).....	6
Figura 2.2 Principais gases com efeito de estufa (adaptado de IPCC, 2007).....	7
Figura 2.3 Evolução das concentrações de <i>CO2</i> , <i>CH4</i> e <i>N2O</i> na atmosfera no último milénio (IPCC, 2001a).....	8
Figura 2.4 Evolução das emissões de <i>CO2</i> global, por pessoa, de 1950 a 2010 (Boden et al., 2015).....	9
Figura 2.5 Distribuição das emissões de GEE global por atividades económicas (adaptado de IPCC, 2007).....	10
Figura 2.6 Tendência observada na precipitação anual nos continentes entre 1901-2010 (à esquerda) e 1951-2010 (à direita) (IPCC, 2013).....	11
Figura 2.7 Tendência, por década, de CDD (à esquerda) e CWD (à direita), entre 1941-2012 (de Lima et al., 2013).....	12
Figura 2.8 Mudanças observadas, em °C, na temperatura média anual da superfície, entre 1901 e 2012 (IPCC, 2014a).....	13
Figura 2.9 Evolução da temperatura média mínima (curva inferior) e máxima (curva superior) em Portugal Continental, entre 1930-2000 (Miranda et al., 2002).....	14
Figura 2.10 Mudança no nível médio do mar na Terra (1880-2009) (Church e White, 2011; retirado de EEA, 2012).....	15
Figura 2.11 Diferenças (em percentagem) na precipitação média global (2081-2100), relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP2.6, à esquerda, e RCP8.5, à direita) (IPCC, 2014b).....	17
Figura 2.12 Diferenças (em °C) na temperatura do ar média à superfície (2081-2100), relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP 2.6, à esquerda, e RCP 8.5, à direita) (IPCC, 2014a).....	18
Figura 2.13 Anomalias na temperatura do ar entre 1900 e 2100, relativamente ao período 1986-2005, considerando dois cenários projetados até ao final do século (IPCC, 2014a).....	19
Figura 2.14 Diferenças (em metros) na mudança do nível médio do mar (2081-2100) relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP 2.6, à esquerda, e RCP 8.5, à direita) (IPCC, 2014b).....	19

---

Figura 2.15 Principais vetores de descarbonização para o RNBC (RNBC, 2012).....	22
Figura 2.16 Benefícios da aplicação do RNBC (RNBC, 2012). .....	23
Figura 2.17 Setores estratégicos da ENAAC (adaptado de APA@, 2015). .....	28
Figura 2.18 Abordagem metodológica à identificação e aplicação de medidas de adaptação (adaptado de APA@, 2015).....	29
Figura 2.19 Exemplos de medidas de adaptação em Portugal, para combater as cheias urbanas (adaptado de Silva e Costa, 2011). .....	31
Figura 3.1 Localização das estações climatológicas em Portugal Continental. ....	37
Figura 4.1 Tendência anual do índice PRECTOT para Bragança, entre 1945-2004. O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de PRECTOT e o y representa a equação da linha de tendência. ....	45
Figura 4.2 Tendência da precipitação total anual para as 6 estações em Portugal Continental, de 1941 a 2004.....	46
Figura 4.3 Tendência anual do índice CDD para Coimbra, entre 1941-1994. O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de CDD e o y representa a equação da linha de tendência. ....	48
Figura 4.4 Tendência anual do índice CWD, para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941- 2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de CWD e o y representa a equação da linha de tendência. ....	50
Figura 4.5 Tendência anual do índice RX1D, para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941- 2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de RX1D e o y representa a equação da linha de tendência. ....	51
Figura 4.6 Tendência anual do índice RX5D, para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941- 2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de RX5D e o y representa a equação da linha de tendência. ....	52
Figura 4.7 Número de meses em que se verifica aumento (+) ou diminuição (-) de RX1D (à esquerda) e RX5D (à direita) entre 1941-2004.....	53
Figura 4.8 Tendência anual do índice R20, para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941- 2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de R20 e o y representa a equação da linha de tendência. ....	56
Figura 4.9 Períodos de retorno para uma chuvada diária de 20mm, para todos os meses do ano e para cada estação (seguido da respetiva latitude), entre 1941-2004.....	57

---

---

Figura 4.10 Tendência das séries TNn (à esquerda) e TNx (à direita), para Beja (1958-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TNn e TNx, e y representa a equação da linha de tendência. ....	61
Figura 4.11 Tendência das séries TNn (à esquerda) e TNx (à direita), para Bragança (1941- 2003). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TNn e TNx, e y representa a equação da linha de tendência. ....	61
Figura 4.12 Tendência das séries TNn (à esquerda) e TNx (à direita), para Porto (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TNn e TNx, e y representa a equação da linha de tendência. ....	61
Figura 4.13 Tendência das séries TNn (à esquerda) e TNx (à direita), anualmente, para Tavira (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TNn e TNx, e y representa a equação da linha de tendência. ....	62
Figura 4.14 Tendência anual das séries de TXn (à esquerda) e TXx (à direita), para Beja (1958-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TXn e TXx, e y representa a equação da linha de tendência. ....	64
Figura 4.15 Tendência anual das séries de TXn (à esquerda) e TXx (à direita), para Bragança (1941-2003). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TXn e TXx, e y representa a equação da linha de tendência. ....	64
Figura 4.16 Tendência anual das séries de TXn (à esquerda) e TXx (à direita), para Porto (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TXn e TXx, e y representa a equação da linha de tendência. ....	65
Figura 4.17 Tendência anual das séries de TXn (à esquerda) e TXx (à direita), para Tavira (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TXn e TXx, e y representa a equação da linha de tendência. ....	65

---

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 Latitude, longitude e altitude das 6 estações climatológicas em estudo (ETCCDI@, 2015). .....	37
Quadro 3.2 Índices estudados para a precipitação.....	39
Quadro 3.3 Índices estudados para a temperatura do ar.....	40
Quadro 4.1 Precipitação total para cada estação climatológica.....	44
Quadro 4.2 Resultados do teste de Mann-Kendall para a precipitação total anual. ....	45
Quadro 4.3 Tendência de 4 índices anuais de precipitação: percentagem das 27 estações com tendências positivas (+)/negativas (-) e correspondentes tendências estatisticamente significativas (Sig) ao nível de 5% (adaptado de de Lima et al., 2013).....	47
Quadro 4.4 Tendência de 6 índices anuais de precipitação: percentagem das 57 estações com tendências positivas (+)/negativas (-) e correspondentes tendências estatisticamente significativas (Sig) ao nível de 5% (adaptado de de Lima et al., 2014).....	47
Quadro 4.5 Resultados do teste de Mann-Kendall para CDD.....	47
Quadro 4.6 Tendência das séries mensais de RX1D dos 6 postos udométricos (1941-2004), de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (***), 1% (**), 5% (*) e 10% (+).....	53
Quadro 4.7 Tendência das séries mensais de RX5D dos 6 postos udométricos (1941-2004), de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (***), 1% (**), 5% (*) e 10% (+).....	54
Quadro 4.8 Período de retorno para uma chuvada diária de pelo menos 20mm, para as 6 estações, entre 1941-2004.....	57
Quadro 4.9 Tendência das séries mensais de TNn, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (***), 1% (**), 5% (*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). ....	59
Quadro 4.10 Tendência das séries mensais de TNx, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (***), 1% (**), 5% (*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). ....	60
Quadro 4.11 Tendência das séries anuais de TNn e TNx, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (***), 1% (**), 5% (*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).....	60

---

Quadro 4.12 Tendência das séries mensais de TXn, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (***), 1% (**), 5% (*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). .....	63
Quadro 4.13 Tendência das séries mensais de TXx, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (***), 1% (**), 5% (*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). .....	63
Quadro 4.14 Tendência das séries anuais de TXn e TXx, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (***), 1% (**), 5% (*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). .....	63

## ABREVIATURAS

AC – Alterações Climáticas

AFOLU - Agricultura, florestas e outros usos da terra

AG – Aquecimento Global

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

CCS - Energia fóssil por captura e fornecimento de dióxido de carbono

CDD - Número máximo de dias consecutivos secos

CELE – Comércio Europeu de Licenças de Emissão de GEE

CQNUAC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas

CWD - Número máximo de dias consecutivos com precipitação

ENAAC - Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas

GEE – Gases com efeito de estufa

Gt – Giga toneladas

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

Mt CO<sub>2</sub>e – Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente

PNAC – Programa Nacional das Alterações Climáticas

PNALE II – Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão para o período 2008-2012

Ppmv – Partes por milhão de volume

PRECTOT - Precipitação total anual

RNBC – Roteiro Nacional de Baixo Carbono

RX1D - Precipitação máxima em um só dia

RX5D - Precipitação máxima em 5 dias consecutivos

R20 - Número de dias de precipitação maior ou igual a 20 mm/dia, para um dado ano

TNn - Valor mínimo mensal da temperatura mínima diária

TNx - Valor máximo mensal da temperatura mínima diária

TXn - Valor mínimo mensal da temperatura máxima diária

TXx - Valor máximo mensal da temperatura máxima diária

WMO – *World Meteorological Organization*

ZER – Zona de emissões reduzidas

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento e Motivação

Com o desenvolvimento tecnológico e conseqüente aumento de utilização de energias fósseis e do solo, a preocupação com o ambiente e futura vida na Terra é cada vez maior, o que tem levado a que cada vez mais investigadores venham a estudar esta problemática, nomeadamente as tendências do clima no passado e cenários para o futuro.

As alterações climáticas (AC) são um tema que, ao passar dos anos, tem sido estudado aprofundadamente devido às mudanças que se têm registado e aos impactos que têm provocado. Estas mudanças incluem a ocorrência de fenómenos extremos de precipitação e temperatura do ar, como precipitações mais intensas e severas, períodos longos sem ocorrência de precipitação e episódios tanto de excesso de temperaturas como de temperaturas demasiado baixas.

A discussão do aquecimento global (AG) e de AC tem sido acompanhado de estudos e conduzido à avaliação das implicações na variabilidade espacial e temporal de algumas componentes do balanço hídrico e, conseqüentemente, no ciclo da água e sistemas hidrológicos (e.g. de Lima et al., 2013).

Perante esta situação, por todo o mundo, muitas associações, agências, organizações, projetos, etc., vêm a atuar neste âmbito e, com a colaboração conjunta de vários países a implementar medidas dedicadas a combater o aquecimento global: algumas medidas apenas a nível Regional, outras a nível Nacional e as mais abrangentes a nível Mundial.

Esta dissertação visa recolher informação sobre as causas que têm levado às AC e, com base nos seus impactos, identificar medidas mitigadoras e de adaptação que visem o bem-estar e a qualidade de vida das gerações vindouras. Contudo, foca-se essencialmente no estudo da precipitação e da temperatura do ar, avaliando possíveis manifestações de AC.

Deste modo, fez-se uma pesquisa bibliográfica sobre os principais fatores que influenciam as alterações da variabilidade climática, medidas de aplicação para reduzir e prevenir os impactos causados, e estudos de outros autores sobre as tendências da precipitação e temperatura do ar, globalmente e mais especificamente em Portugal Continental.

Foi feita igualmente uma avaliação de séries temporais em Portugal Continental, em 6 estações meteorológicas (Beja, Bragança, Coimbra, Lisboa, Porto e Tavira) de 1941-2004. Esta avaliação foi efetuada através do teste de Mann-Kendall e teste de Sen, com o propósito de verificar se existem tendências estatisticamente significativas na precipitação e temperatura do ar. Este estudo usou vários índices de extremos (disponíveis em ETCCDI@, 2015); os resultados da avaliação de tendências foram comparados com estudos de outros autores. Por fim, com base nas condições meteorológicas e hidrológicas de Portugal enunciadas no capítulo “Estado da Arte”, são enumeradas algumas medidas que melhor se adequam à realidade do país.

## 1.2 Objetivos

No presente estudo propôs-se analisar medidas mitigadoras e de adaptação face às alterações climáticas em Portugal e, com base nas tendências sobre o clima verificadas no passado, identificar medidas que tenham a capacidade de reduzir/prevenir os efeitos negativos sobre o clima da Terra.

Deste modo, foi pretendido alcançar os seguintes objetivos:

- Identificar metodologias aplicadas até à data em relação a medidas mitigadoras e medidas de adaptação em Portugal Continental;
- Analisar os dados de séries temporais para estudar a variabilidade temporal e espacial na precipitação e temperatura do ar, em Portugal Continental;
- Comparar os resultados obtidos na presente dissertação com resultados obtidos anteriormente por outros autores;
- Identificar medidas mitigadoras e de adaptação que possam combater o AG.

### **1.3 Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação está desenvolvida em cinco capítulos principais, aos quais se acrescenta o dedicado às Referências Bibliográficas.

Capítulo 1 - “Introdução”: é dada uma breve introdução sobre o tema em estudo. Pretende enquadrar de forma resumida o tema abordado e definir os objetivos a que tem por fim esta dissertação.

Capítulo 2 – “Estado da arte”: apresenta várias vertentes que associadas às alterações climáticas, incluindo a mitigação e adaptação, de modo a servir de base para o que foi tratado neste documento. São também referidos estudos anteriores de diferentes autores com resultados explícitos sobre o que tem vindo a ser tendência no clima da Terra.

Capítulo 3 – “Métodos e Materiais”: este capítulo define qual a metodologia de estudo utilizada e os materiais que deram base à realização do estudo de tendências na precipitação e temperatura do ar.

Capítulo 4 – “Resultados e Discussão”: são apresentados os resultados das tendências das séries estudadas e comparados com os resultados já identificados em trabalhos anteriores. Também foi feita uma listagem de medidas mitigadoras e de adaptação aplicadas em Portugal e algumas propostas de medidas que podem vir a ser adotadas em Portugal.

Capítulo 5 – “Conclusões”: este capítulo apresenta, de forma resumida, o que foi concluído com este estudo e propostas de futuros trabalhos.

Por fim, no capítulo “Referências Bibliográficas” está apresentada a bibliografia que serviu de base ao trabalho apresentado.

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 Alterações Climáticas

Ao longo das últimas décadas/séculos, as alterações climáticas têm vindo a ser um tema de bastante importância e preocupação para o Homem, podendo ser de causas naturais como antropogénicas. Porém, esta problemática deve-se essencialmente ao grande aumento das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) para a atmosfera.

Com o aumento dos GEE, tem-se vindo a verificar um aumento da temperatura média na Terra à superfície e, por consequência uma variação no clima ao longo do tempo. Torna-se assim um assunto ao qual deve ser dada atenção de modo a evitar continuação desse aumento, com um combate às AC através de adequadas medidas de mitigação.

As AC estão na ordem do dia como um assunto de elevada importância, e constantemente discutidas pela sociedade, entidades reguladoras, organizações governamentais e não-governamentais. Dado que as medidas mitigadoras apenas poderão surtir efeito a longo prazo, como complemento, são implementadas medidas que se adaptem ao atual clima, resultante de ações anteriores.

Após negociações sobre o regime climático pós-2012 da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC), foi definido como objetivo atingir a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera, a fim de evitar interferência antropogénica perigosa para o sistema climático. Esse objetivo estabelece que não deve ser ultrapassado um aumento da temperatura global média da superfície terrestre de 2°C em relação aos níveis pré-industriais (APA@, 2015).

No início do século XVIII começou a Revolução Industrial e a intensiva utilização de combustíveis fósseis, como o carvão, petróleo e gás natural, sendo uma das grandes causas do aumento das emissões de GEE para atmosfera. A queima destes combustíveis fósseis provoca essencialmente a emissão de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) que se acumula na atmosfera. Em média, nos últimos 20 anos, aproximadamente 75% dessas emissões antropogénicas devem-se à queima de combustíveis fósseis. O problema do  $CO_2$  ser um gás com efeito de estufa é que ao ser emitido pela superfície da Terra, a atmosfera vai absorver a radiação infravermelha. Outros GEE presentes na atmosfera são: o metano ( $CH_4$ ), o vapor de água que pode variar

bastante, o óxido nitroso ( $N_2O$ ), o ozono ( $O_3$ ), os clorofluorcarbonetos (CFC's), os hidrofluorcarbonetos (HCFC's), entre outros de menor importância (Santos, 2006).

Na inexistência de GEE, as radiações seriam irradiadas para o espaço, e como a radiação infravermelha não seria absorvida pela atmosfera, a Terra não recebia essa energia e a temperatura à superfície rondaria os  $-18^{\circ}C$ , em vez dos atuais  $15^{\circ}C$ . Deste modo, com o aumento dos GEE, restabelece-se um equilíbrio através do aumento da temperatura da baixa atmosfera (troposfera) e essa diferença de  $33^{\circ}C$  deve-se ao efeito de estufa natural, que sem ele seria impossível a vida como a conhecemos (Projeto SIAM II, 2006).

Além dos combustíveis fósseis, há que referir a importância do uso intensivo do solo e a deflorestação, causado essencialmente pela indústria pecuária.

O estado da atmosfera é essencial para o clima na Terra e importante para a vida e sua evolução. Desde a sua formação, há 4000 milhões de anos, existiram várias épocas glaciares e com isso, variações no clima ao longo do tempo. A última época glacial terminou há cerca de 20000 anos, na qual a temperatura média global da atmosfera à superfície da Terra era  $5^{\circ}C$  a  $7^{\circ}C$  menor que atualmente, enquanto o nível médio do mar estava entre 100m e 120m abaixo do atual (Projeto SIAM II, 2006).

Desde o início do século XX que a temperatura média global da atmosfera à superfície da Terra, aumentou aproximadamente  $0,2^{\circ}C \pm 0,6^{\circ}C$ . Quanto à precipitação, nas últimas décadas tem-se vindo a verificar maior frequência de fenómenos extremos, como chuva intensa em latitudes médias e altas e episódios de secas em latitudes médias (Projeto SIAM II, 2006).

Para o futuro, é esperado que estes fenómenos se agravem, com um aumento da temperatura média global para 2100 entre  $1,4^{\circ}C$  e  $5,8^{\circ}C$  e continuação de chuvas mais intensas e secas ainda mais frequentes e severas (Projeto SIAM II, 2006).

Quanto ao nível médio do mar, a situação é ainda mais grave. Se não forem tomadas medidas para combater a tendência das últimas décadas, até ao século XXI é esperado um aumento entre 0,09m e 0,88m, sendo mais provável chegar aos 0,5m de subida do nível médio do mar (Projeto SIAM II, 2006).

A Figura 2.1 ilustra a evolução da temperatura média global à superfície da Terra desde o final do século XIX e, como se pode verificar, existem dois períodos onde se torna bem visível o aumento da temperatura, entre 1910-1945 e após 1975. Nesses dois períodos, o

incremento de temperatura foi de  $0,15^{\circ}\text{C}$  por década e na atualidade é cerca de  $0,05\pm 0,17^{\circ}\text{C}$  por década (Projeto SIAM II, 2006).

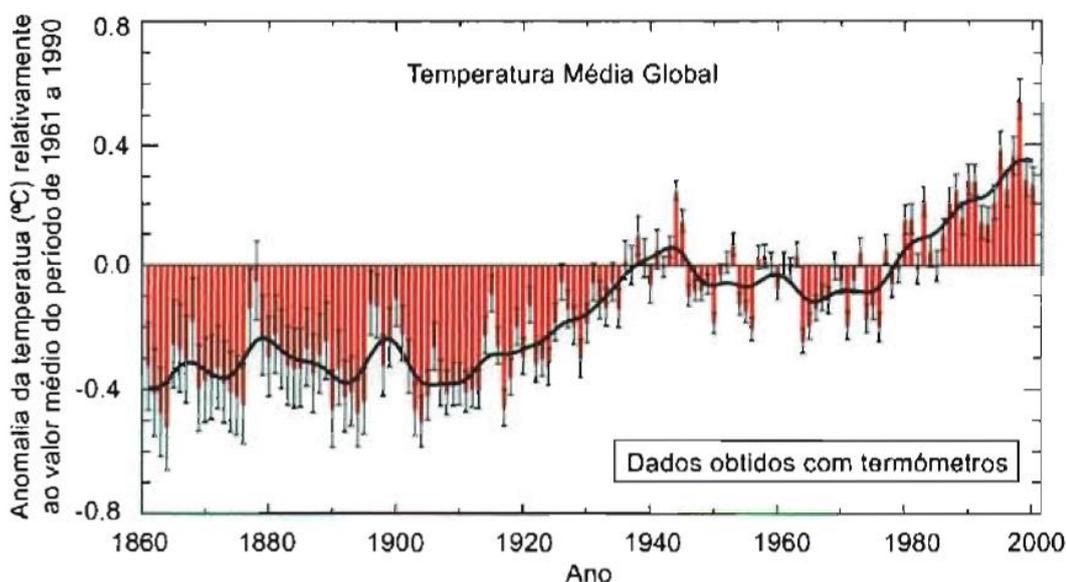


Figura 2.1 Temperatura média global da atmosfera à superfície da Terra, representada em termos de anomalia da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) relativamente ao valor médio do período de 1961 a 1990. O intervalo de erro está representado por uma barra (IPCC, 2001a; retirado de Projeto SIAM II, 2006).

### 2.1.1 Causas

É importante perceber quais as causas das alterações climáticas para conseguir estudar a sua problemática e assim, tentar combater os efeitos negativos sobre o clima na Terra. É um assunto bastante estudado nas últimas décadas pois tem vindo a agravar-se e é necessário agir e tomar medidas para atenuar os efeitos já causados.

São várias as causas que têm levado às alterações do clima na Terra. Desde sempre houve causas naturais, por épocas glaciares, mas nas últimas décadas verificou-se um agravamento em termos de AC, principalmente devido ao aumento de GEE para a atmosfera. Na Figura 2.2 estão mostrados os principais gases que têm influenciado essa variação, causados pela intervenção humana, que são (EPA@, 2015):

- **Dióxido de carbono (77%)** - Causado principalmente pelo uso de combustíveis fósseis, mas também inclui a decomposição de biomassa e o uso de solo através da desflorestação;

- **Metano (14%)** – Atividades agrícolas, gestão de resíduos e uso de energia. Mais de um terço das emissões provém da agricultura;
- **Óxido nitroso (8%)** – Uso de fertilizantes em atividades agrícolas;
- **Gases fluorados (F-gases) (1%)** – Processos industriais, refrigeração e alguns produtos de consumo causam a emissão destes gases, como por exemplo o HCFC's, PFC's (perfluorocarbonetos) e  $SF_6$  (hexafluoreto de enxofre).

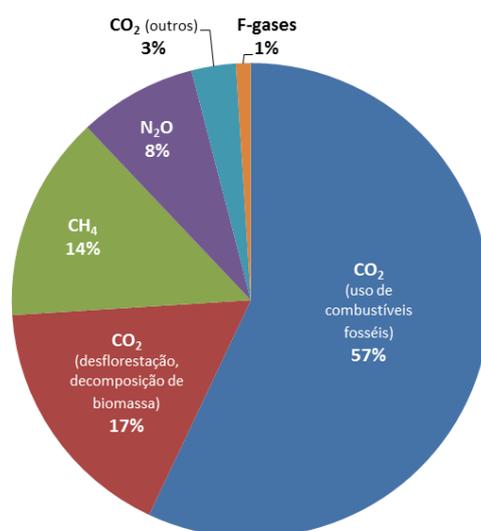


Figura 2.2 Principais gases com efeito de estufa (adaptado de IPCC, 2007).

É de realçar que, notoriamente, o gás com mais impacto no ambiente em termos de emissões de GEE é o dióxido de carbono, principalmente pela queima de combustíveis fósseis (mais de metade do total de emissões), como o petróleo, o carvão e o gás natural.

A Figura 2.3 mostra a evolução de alguns gases com efeito de estufa ( $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$ ) no último milénio, e como se pode verificar, é notável o aumento a partir do século XIX, podendo estar diretamente relacionado com a Revolução Industrial no início do século XVIII.

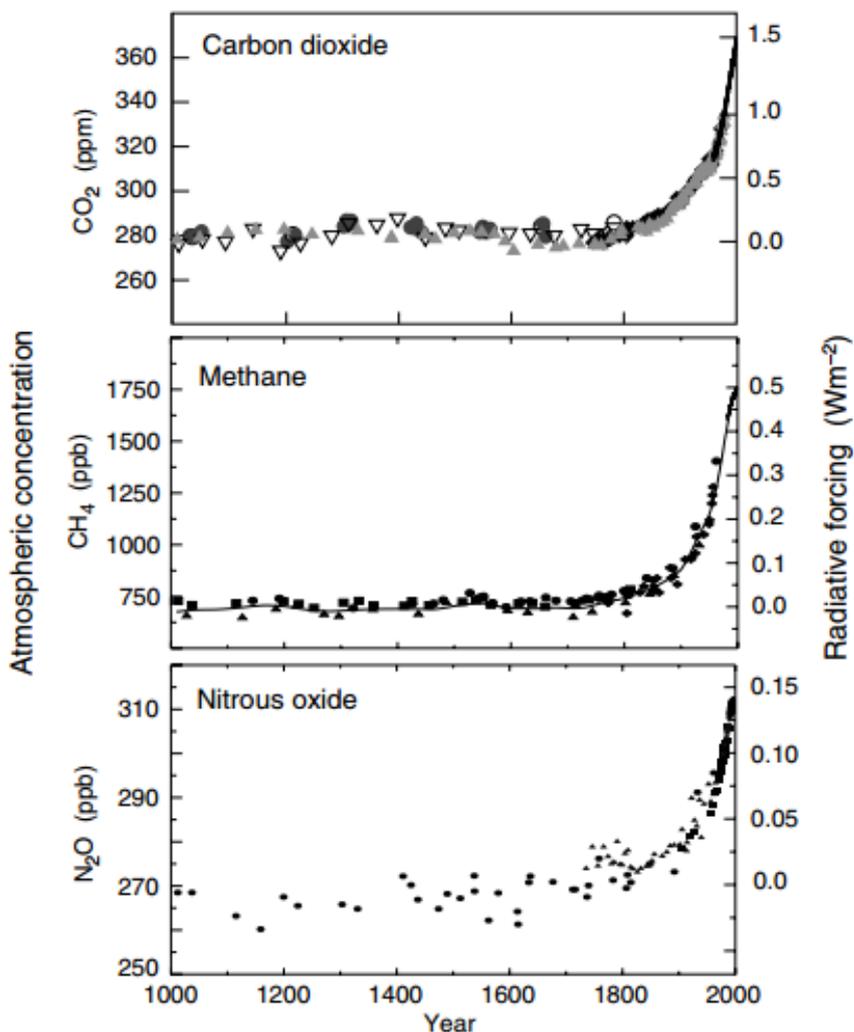


Figura 2.3 Evolução das concentrações de  $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$  na atmosfera no último milénio (IPCC, 2001a).

É de referir que as emissões de GEE nos próximos 100 anos, são bastante importantes para o comportamento das alterações climáticas na Terra, definindo o futuro para o desenvolvimento socioeconómico (Projeto SIAM II, 2006).

A Figura 2.4 mostra as emissões de dióxido de carbono, a nível mundial, desde 1950. Tal como mostra a Figura 2.3, é notório a elevada taxa de crescimento da emissão de  $CO_2$ , em que entre 1950-2010, a sua emissão, por pessoa, duplicou.

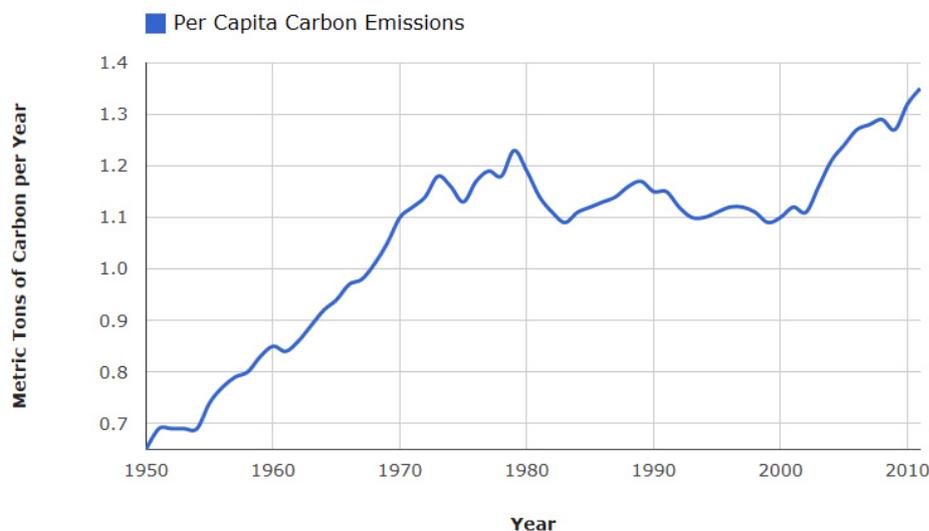


Figura 2.4 Evolução das emissões de  $CO_2$  global, por pessoa, de 1950 a 2010 (Boden et al., 2015).

Porém, os GEE são produzidos e emitidos por diversas atividades económicas. A Figura 2.5 mostra a influência das diferentes atividades e respetivas percentagens (dados relativos a 2004), que são (EPA@, 2015):

- **Consumo doméstico de energia (26%)** – Queima de combustíveis fósseis para produção de energia, sendo o calor a maior fonte de emissão de GEE;
- **Indústria (19%)** – Principalmente a queima de combustíveis fósseis, mas também inclui emissões de químicos, metalúrgica e processos de transformação mineral;
- **Florestas e uso do solo (17%)** – Desflorestação, limpeza de terrenos para agricultura ou por via de incêndios;
- **Agricultura (14%)** – Gestão de solos agrícolas, indústria pecuária e a queima da biomassa são o fator que influencia a emissão de GEE na agricultura;
- **Transporte (13%)** – Queima de combustíveis fósseis utilizados para o transporte rodoviário, ferroviário, aéreo, marítimo e fluvial, das quais 95% dessa energia é derivada do petróleo (gasolina e gasóleo);
- **Edifícios comerciais e residenciais (8%)** – Geração de energia e queima de combustíveis fósseis para o aquecimento dos edifícios;
- **Resíduos e águas residuais (3%)** – Emissões de metano para a atmosfera, que se verifica tanto em aterros sanitários como em águas residuais. Em menor escala verifica-se a emissão de  $N_2O$  das águas residuais seguido da emissão de  $CO_2$  pela

incineração de alguns resíduos de produtos resultantes de combustíveis fósseis, tais como plásticos e têxteis sintéticos.

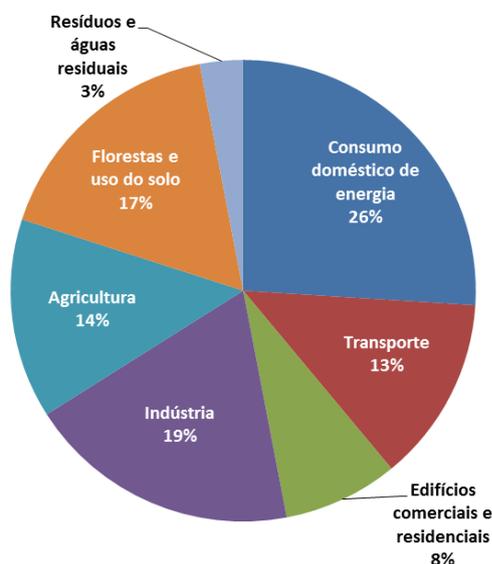


Figura 2.5 Distribuição das emissões de GEE global por atividades económicas (adaptado de IPCC, 2007).

Constata-se que a produção para consumo doméstico de energia é a atividade que mais influencia o aumento de GEE na atmosfera, e que os transportes é das atividades que menos afeta a atmosfera com as suas emissões (IPCC, 2007).

### 2.1.2 Consequências e Impactos

As alterações climáticas, resultantes tanto de causas naturais como da atividade humana, estão a gerar grandes oscilações no ambiente na Terra, causando uma diversidade de impactos. Esses impactos vão desde variações na temperatura do ar, na precipitação, nos recursos hídricos, no nível médio do mar, na agricultura, na saúde humana, nas florestas e biodiversidade, na energia, nas pescas e na zona costeira. Porém, foca-se essencialmente em 4 grandes setores (IPCC, 2001b):

- Aumento da temperatura média global;
- Alteração de padrões de temperatura do ar e precipitação com o aumento de eventos extremos (secas e cheias);
- Subida global do nível médio do mar;
- Aumento da temperatura média das camadas superiores dos oceanos.

Para a **precipitação**, a grande preocupação de impacto das AC, é o aumento de episódios extremos com ocorrência de secas e de cheias.

A Figura 2.6 mostra a variação observada da precipitação anual sobre os continentes da Terra (milímetros por década) para dois intervalos de tempo, entre 1901-2010 e 1951-2010. Verifica-se que em 1901-2010 ocorrem, em média, episódios tanto de aumento como de diminuição no total precipitado por década. Porém, ao analisar o período mais recente, entre 1951-2010, verifica-se um grande agravamento de episódios de diminuição e aumento de precipitação anual um pouco por todo o mundo, dependendo da localização geográfica. Em Portugal, para ambos os intervalos de tempo, ocorre diminuição na precipitação anual, por década. Essa diminuição também é mais acentuada entre 1951-2010 do que em 1901-2010.

As áreas em branco da Figura 2.6, significam que os dados são incompletos e inconclusivos, ou que não se verifica tendência de aumento/diminuição na precipitação anual. Em relação aos sinais pretos de adição (+), significam que existe uma tendência significativa com 90% de confiança (IPCC, 2013).

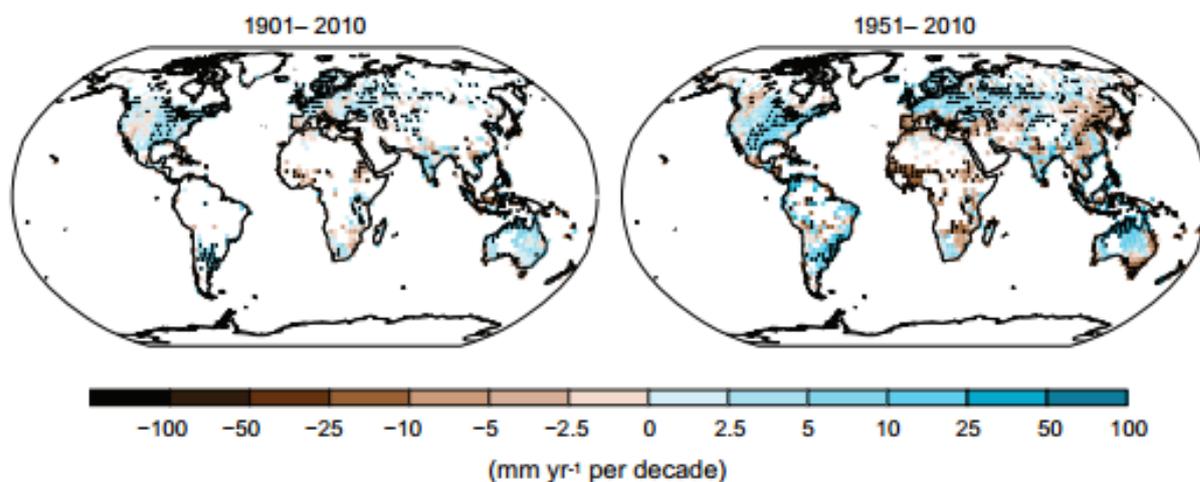


Figura 2.6 Tendência observada na precipitação anual nos continentes entre 1901-2010 (à esquerda) e 1951-2010 (à direita) (IPCC, 2013).

Em Portugal Continental, um estudo de precipitação observada em 27 estações meteorológicas e postos udométricos (de Lima et al., 2013) analisou as tendências de extremos de precipitação entre 1941 e 2012. Este estudo concluiu que, à escala anual, a tendência de fenómenos estatisticamente significativos apenas se verifica em algumas estações e que à escala sazonal os resultados são mais significativos para um número maior de

estações. Verifica um aumento de episódios chuvosos que contribuem para a precipitação total anual, que poderão ter como impacto o risco de cheias associado com erosão hídrica do solo e um aumento da degradação do solo em algumas regiões.

Em contraste, também se espera que mais frequentemente haja episódios de seca extrema como impacto negativo, à escala sazonal. É de realçar vários resultados: uma forte correlação na precipitação total e índices de extremos; diminuição da precipitação média anual pois existe um decréscimo no número de dias com precipitação igual ou superior a 10 milímetros; diminuição no número de dias consecutivos com precipitação para mais estações e maior número de estações com dias consecutivos sem precipitação; diminuição de contribuição de dias chuvosos que pode levar à seca e desertificação e diminuição na precipitação máxima acumulada em 5 e 10 dias seguidos (de Lima et al., 2013).

Na Figura 2.7 está apresentada a tendência no número máximo de dias consecutivos secos e com precipitação, por década, entre 1941-2012. Verificou-se uma tendência de diminuição no número de dias consecutivos com precipitação em cerca de 80% das 27 estações estudadas, enquanto para o número máximo de dias consecutivos com menos de 1mm os resultados não são estatisticamente significativos (de Lima et al., 2013).

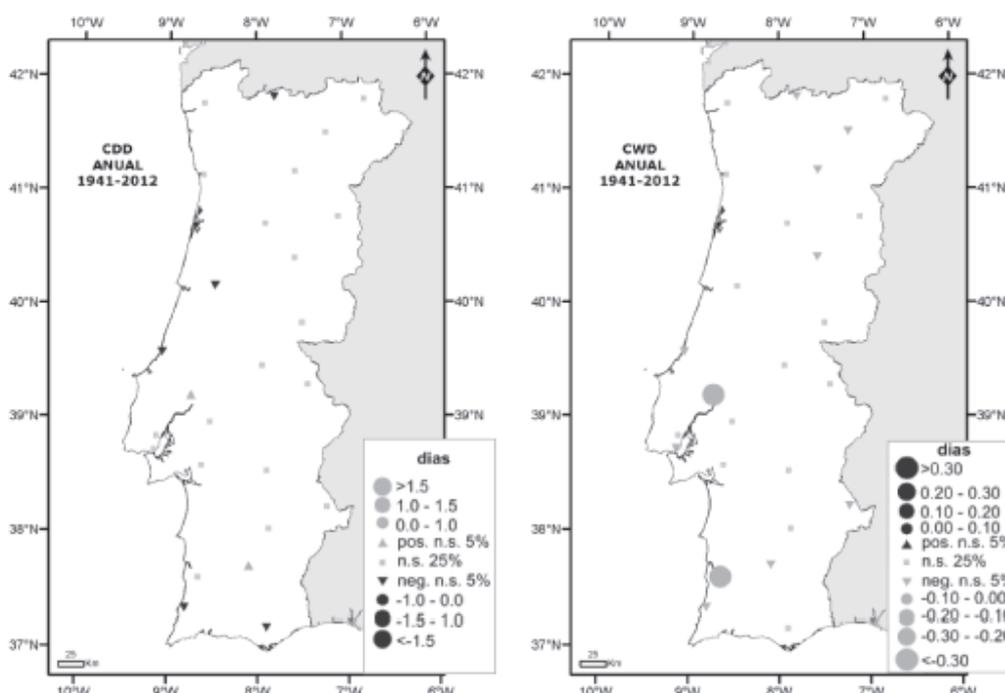


Figura 2.7 Tendência, por década, de CDD (à esquerda) e CWD (à direita), entre 1941-2012 (de Lima et al., 2013).

Na Figura 2.8 observa-se uma das possíveis consequências do aumento dos GEE na **temperatura do ar** à superfície. É mostrado a variação de temperatura entre 1901 e 2012 e é explícito o seu aumento no último século, cerca de 2°C, principalmente para o Norte da Ásia, Sul da América e África. Em contraste, a Antártida não apresenta aumento na temperatura do ar no último século. Para Portugal, o aumento da temperatura do ar médio é cerca de 1°C, entre 1901 e 2012 (IPCC, 2014a).

Os resultados da Figura 2.8 são baseados numa tendência linear, em que os dados permitem uma estimativa robusta. As cores sólidas representam tendências significativas ao nível de 10%. As linhas na diagonal indicam que, apesar de haver tendência, esta não é significativa, enquanto as áreas em branco não apresentam qualquer tipo de tendência (IPCC, 2014a).

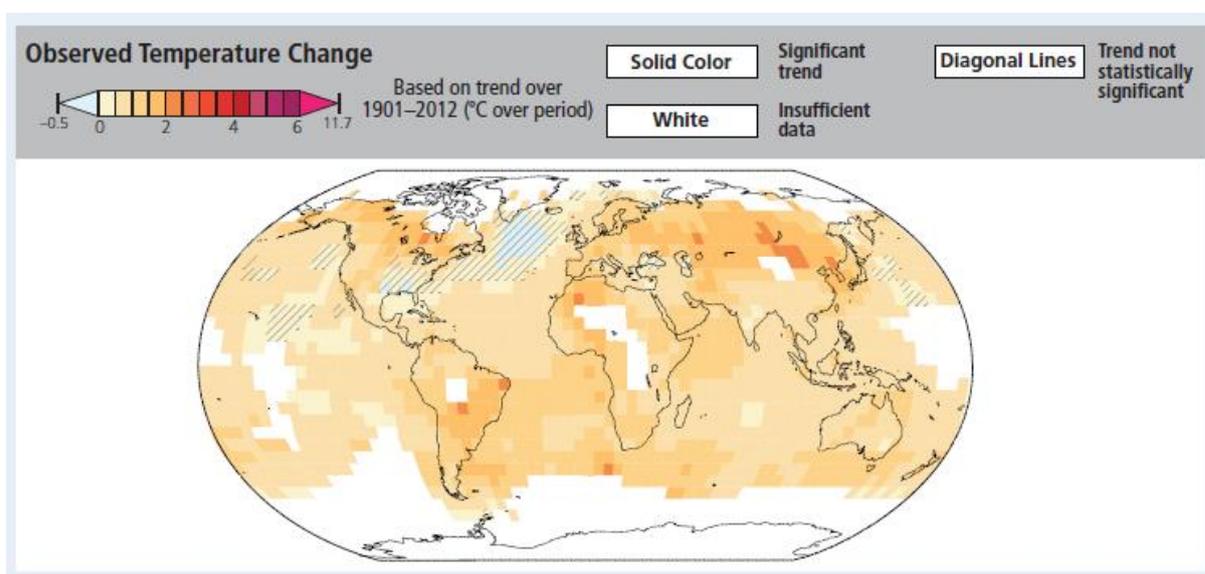


Figura 2.8 Mudanças observadas, em °C, na temperatura média anual da superfície, entre 1901 e 2012 (IPCC, 2014a).

Na Figura 2.9 é apresentada a evolução da temperatura do ar mínima e temperatura do ar máxima, em Portugal Continental, entre 1930-2000. Verifica-se um aumento médio da temperatura do ar em Portugal Continental, tanto na temperatura do ar mínima como na temperatura do ar máxima, principalmente desde 1975.

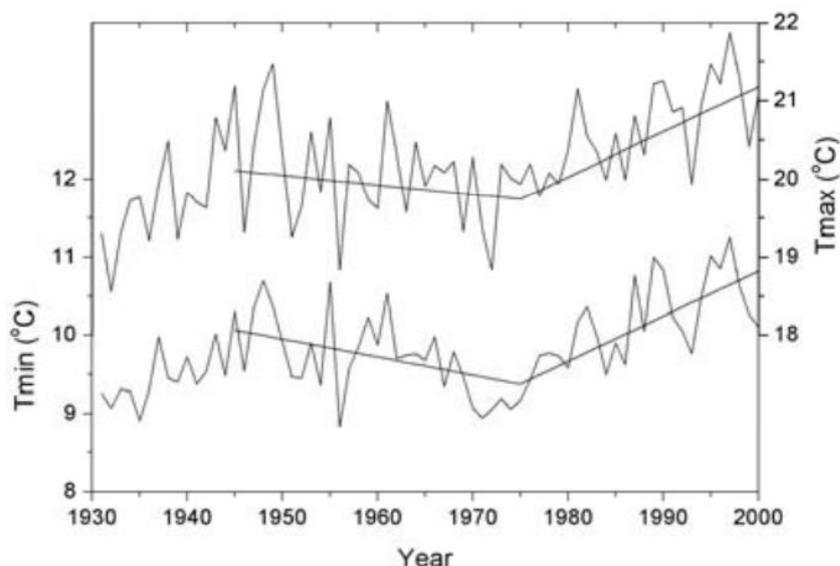


Figura 2.9 Evolução da temperatura média mínima (curva inferior) e máxima (curva superior) em Portugal Continental, entre 1930-2000 (Miranda et al., 2002).

O **aumento do nível médio global do mar** está relacionado com as alterações climáticas e pode vir a ter grande impacto sobre a população, infraestruturas e sistemas naturais. Atua a uma escala global e longa, uma vez que mesmo que se consiga manter as emissões de GEE ao mesmo nível ou mesmo reduzir, o nível do mar irá continuar a subir durante séculos (EEA, 2012).

A Figura 2.10 mostra a influência que o nível do mar tem sofrido com o aquecimento global. É visível o aumento do nível médio do mar desde 1880 até à atualidade, cerca de 200mm. Essa subida do nível do mar pode ter como impacto inundações, erosão costeira e perda de regiões costeiras que sejam planas e próximas do nível do mar (EEA, 2012).

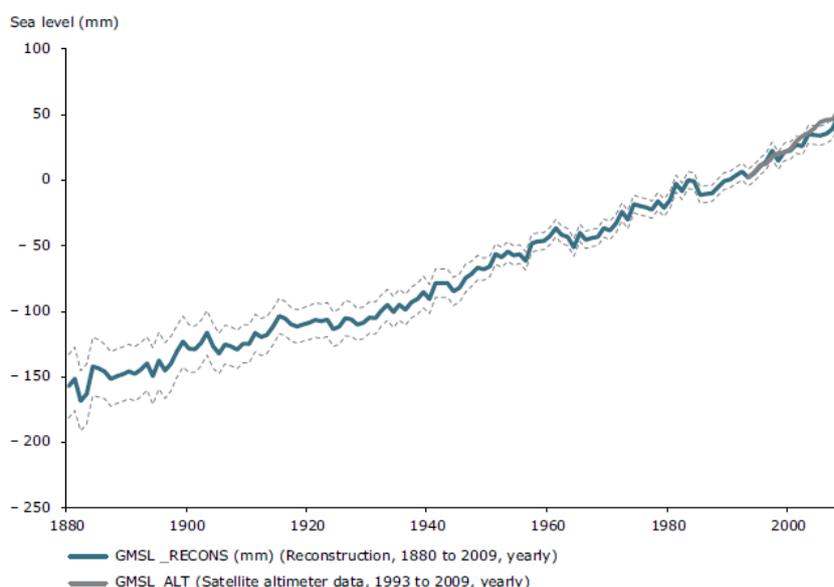


Figura 2.10 Mudança no nível médio do mar na Terra (1880-2009) (Church e White, 2011; retirado de EEA, 2012).

Para Portugal Continental, além dos impactos na precipitação, na temperatura do ar e no nível médio das águas do mar, é de referir outros impactos causados pelo aquecimento global (SIAM, 2001):

- Incremento nos problemas de planeamento e gestão de água, redução da disponibilidade de água e degradação na qualidade da água, principalmente no Verão devido às elevadas temperaturas e menores volumes de escoamento;
- Na agricultura verifica-se o “stress” hídrico com a falta de água para a irrigação e desempenho/produtividade biológica das culturas agrícolas;
- Na saúde humana, o aumento de mortes devido ao excesso de temperaturas, elevada possibilidade de transmissão de doenças pela água e alimentos, e aumento de problemas de saúde causado pela poluição atmosférica;
- Prevê-se um aumento dos fogos florestais (acarreta uma diminuição da cobertura do solo, aumento de erosão e diminuição de infiltrações), migração e extinção de espécies florestais, riscos de diminuição de produtividade pela mortalidade e consequente degradação do solo, diminuição da área florestal que leva a menos consumo de  $CO_2$  por parte da floresta e risco de extinção de biodiversidade e áreas protegidas por não se conseguirem adaptar e reproduzir às rápidas alterações no clima;
- O aumento da temperatura média do mar poderá ter como consequências a ascensão de águas mais frias e ricas em alimentos e assim afetar as espécies marinhas.

### 2.1.3 Tendências Esperadas da Precipitação, Temperatura do ar e Nível médio do mar

Existem muitos estudos que corroboram a ideia de que, principalmente no último século, é explícito a variabilidade de extremos na precipitação ao longo do ano, assim como da temperatura do ar à superfície do planeta, e estimam-se cenários de agravamento caso não se invista rapidamente em soluções para mitigar as consequências das alterações climáticas.

Em relação à **precipitação**, e segundo Karl et al. (1996), “o aquecimento global tem como consequências diretas a alteração na frequência e distribuição das chuvas, aumentando as ocorrências de secas e de cheias”.

Na Figura 2.11 observa-se as variações da precipitação média ao longo do intervalo de tempo 2081-2100 para dois cenários distintos: à esquerda, com a mitigação de emissões de GEE (RCP2.6), e à direita, com um contínuo excesso de emissões de gases para a atmosfera (RCP8.5); as projeções para os dois cenários da precipitação média anual foram realizados em relação às observações ocorridas entre 1986-2005 (em percentagem). Os pontos indicam regiões onde a mudança projetada é grande em comparação com a variabilidade natural e onde 90% dos modelos coincidem na mudança. Quanto às linhas diagonais, mostram quando a mudança é menor que o desvio padrão da variabilidade natural (IPCC, 2014b).

Assim, para o cenário RCP2.6, a mitigação de emissões de GEE significa uma projeção que tem como objetivo manter o aquecimento global menor que 2°C, em relação às temperaturas pré-industriais; enquanto o cenário RCP8.5 é projetado para a excedência de 2°C em relação às temperaturas pré-industriais (IPCC, 2014b).

A projeção com a contínua elevada emissão de gases (RCP8.5) estima aumentos consideráveis de agravamento das tendências para cada região, comparativamente à projeção com redução de GEE para a atmosfera (RCP2.6) e, quando comparada com 1986-2005, a situação é ainda mais gravosa. Para Portugal, constata-se uma diminuição em cerca de 10% para o cenário RCP2.6 e 25% para o cenário RCP8.5, na precipitação média anual.

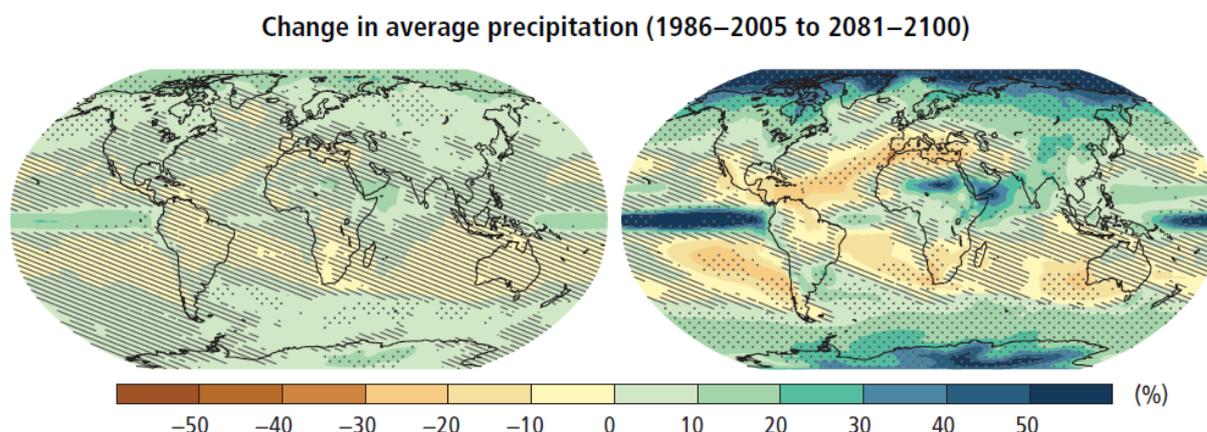


Figura 2.11 Diferenças (em percentagem) na precipitação média global (2081-2100), relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP2.6, à esquerda, e RCP8.5, à direita) (IPCC, 2014b).

De acordo com os estudos apresentados pelo IPCC (2014b), o Oceano Pacífico equatorial e as altas latitudes estão vulneráveis a sofrer um aumento da precipitação média anual até ao final do século. Em latitudes médias e regiões subtropicais secas, é esperado um decréscimo na precipitação média enquanto em regiões húmidas de latitude média é provável um aumento da precipitação média até ao final do século.

Para os mesmos cenários de emissões de GEE a que respeita a Figura 2.11, estimam-se dois cenários de alterações para a **temperatura do ar** em 2081-2100, apresentados na Figura 2.12. À esquerda (RCP2.6) com a mitigação de emissões e à direita (RCP8.5) com uma contínua emissão de GEE. É notório a grande diferença na temperatura do ar projetada entre o cenário RCP2.6 (aumento de 0.3°C a 1.7°C, relativamente a 1986-2005) e RCP8.5 (aumento de 2.6°C a 4.8°C, relativamente a 1986-2005), o que torna ainda mais grave a situação do AG (IPCC, 2014b).

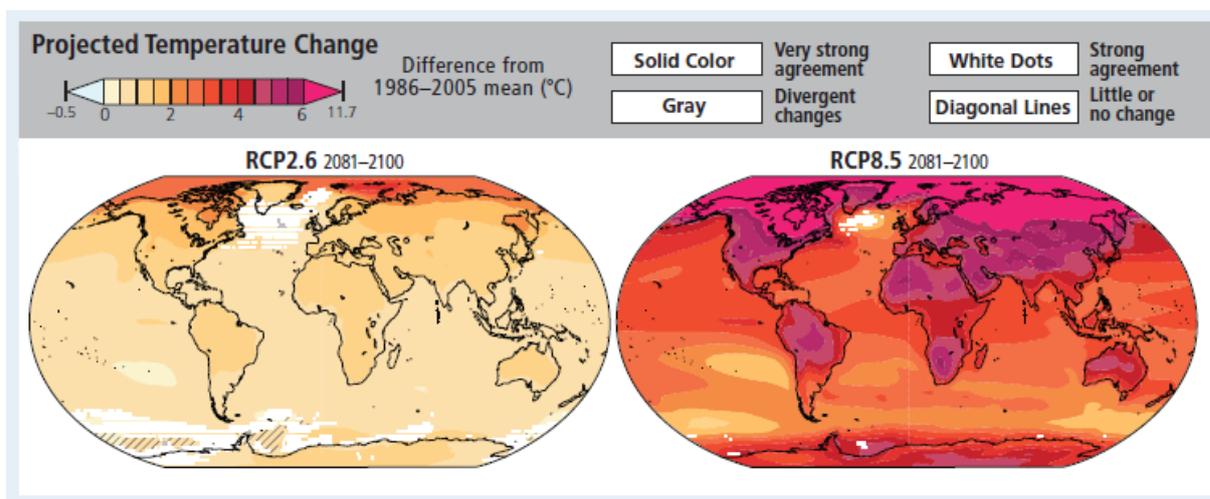


Figura 2.12 Diferenças (em °C) na temperatura do ar média à superfície (2081-2100), relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP 2.6, à esquerda, e RCP 8.5, à direita) (IPCC, 2014a).

Para tornar mais visível a diferença de temperaturas, a Figura 2.13 mostra a variação de temperatura desde 1900 até à atualidade, e os dois caminhos possíveis esperados, quer haja uma continuação elevada de concentrações de GEE emitidas, quer sejam implementadas medidas para reduzir essas mesmas emissões.

Assim, a Figura 2.13 representa a temperatura anual média na Terra observada e prevista em relação a 1986-2005. As linhas pretas mostram estimativas de temperaturas de 3 conjuntos de dados. As linhas azuis e vermelhas indicam o conjunto médio de temperaturas, baseado em simulações CMIP5 de 32 modelos para RCP2.6 e 39 modelos para RCP8.5. O sombreado para a linha azul e para a linha vermelha, mostra o intervalo de erro de cada cenário projetado (IPCC, 2014a).

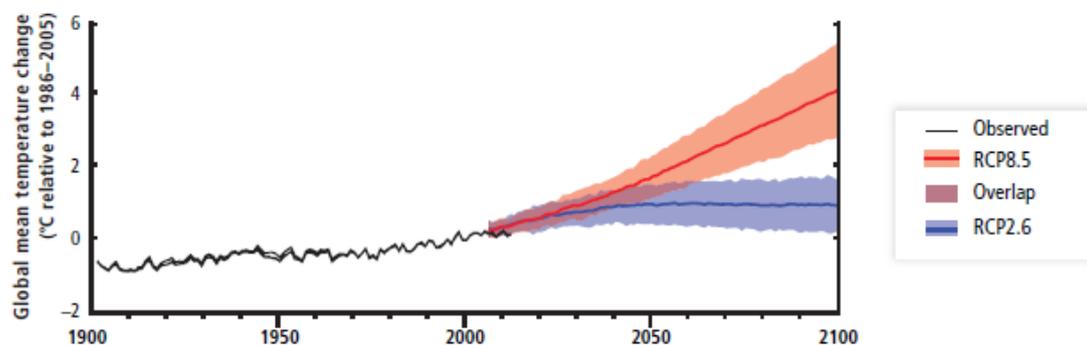


Figura 2.13 Anomalias na temperatura do ar entre 1900 e 2100, relativamente ao período 1986-2005, considerando dois cenários projetados até ao final do século (IPCC, 2014a).

No último século verifica-se um aumento de cerca de 1°C na temperatura do ar global, mas caso não sejam implementadas medidas que visam reduzir as emissões de GEE, até ao final do século pode vir a atingir-se um incremento de 1.4°C a 5.8°C (Projeto SIAM II, 2006).

Na Figura 2.14, está apresentada a tendência esperada para o **nível médio do mar** na Terra. À esquerda, com a mitigação de emissões para a atmosfera e, à direita, com o contínuo aumento de GEE, através do cenário de projecção RCP2.6 e RCP8.5, respetivamente. Constata-se uma enorme subida do nível do mar esperada até ao final do século, cerca de 0.26m a 0.55m para o cenário RCP2.6, e 0.45m a 0.82m para o cenário RCP8.5. As projeções para ambos os cenários baseiam-se na comparação com as anomalias verificadas entre 1986-2005.

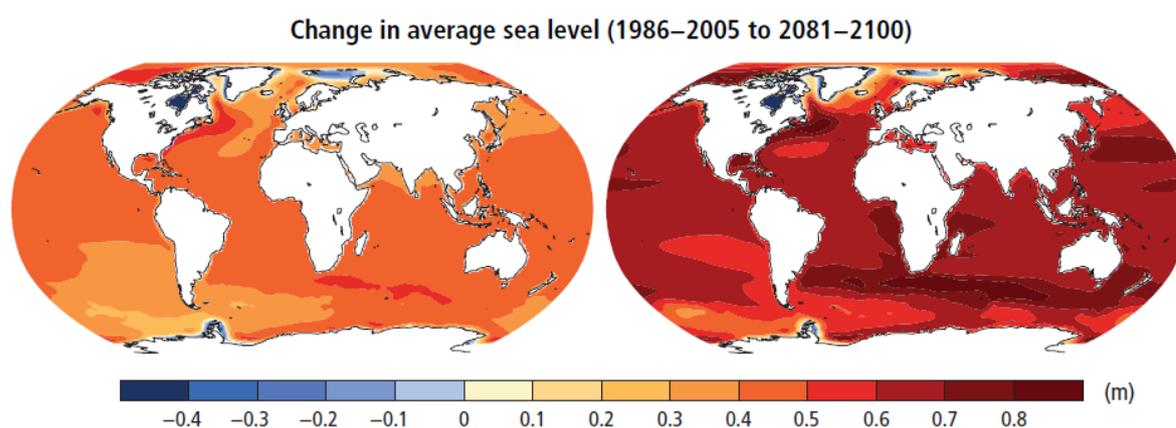


Figura 2.14 Diferenças (em metros) na mudança do nível médio do mar (2081-2100) relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP 2.6, à esquerda, e RCP 8.5, à direita) (IPCC, 2014b).

Segundo Santos (2006), a temperatura média global das camadas à superfície dos oceanos (até 3000 metros de profundidade) tem vindo a aumentar e a causar a dilatação da massa de água e assim a subida do nível médio do mar. Estima-se que o oceano tenha vindo a absorver 80% da energia térmica adicionada ao sistema climático devido ao aumento da concentração de GEE na atmosfera.

## 2.2 Medidas de Mitigação

A mitigação é uma etapa essencial para combater as alterações climáticas, e visa reduzir a emissão de GEE para a atmosfera.

Com o desenvolvimento da tecnologia e necessidade de energia que provém de combustíveis fósseis, o uso proveniente destes combustíveis torna-se inevitável, principalmente por parte dos países desenvolvidos. Em Portugal, e um pouco por todo o mundo, tem-se vindo a verificar a adoção de diversas medidas mitigadoras.

A CQNUAC entrou em vigor a 21 de Março de 1994 e foi apresentada para assinatura na Cimeira da Terra do Rio de Janeiro em 1992. Deu início, a nível internacional, a prevenção de interferência perigosa do sistema climático através de medidas que visam em reduzir a emissão de GEE para a atmosfera. Em 2004, já tinham confirmado à CQNUAC 189 estados, e com o empenho desses países, juntos poderão contribuir para uma mudança (Projeto SIAM II, 2006).

Na terceira conferência da CQNUAC, realizada em 1997, surgiu o Protocolo de Quioto, que o grande objetivo foi diminuir as emissões de GEE. É um tratado jurídico a nível internacional e estabelece limitações nas emissões para todos os países que o assinaram. No âmbito do Protocolo, foi estabelecido a obrigação de os países desenvolvidos reduzirem globalmente 5% as emissões de GEE em relação a 1990, até 2008-2012, que inclui o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC e SF<sub>6</sub> (Projeto SIAM II, 2006).

O Protocolo de Quioto tem por base reduzir as emissões de GEE através de (Henriques, 2009):

- Regulamentos que limitem as emissões e a eficiência energética;
- Incentivos económicos, como o uso de energias renováveis e incentivo ao uso de transportes públicos;
- Medidas fiscais, como taxas diferenciadas em relação às emissões de GEE;
- Redução dos consumos energéticos, fazendo ações de formação e de educação;

- Vantagens económicas para tornar as empresas mais competitivas, e uma melhoria na saúde pública e no ambiente urbano;
- Tecnologias mais evoluídas por parte dos países desenvolvidos, e que não sejam tão dependentes de energias fósseis.

O Protocolo de Quioto, para Portugal, tem por base 3 instrumentos que visam a atingir o seu cumprimento (APA@, 2015):

- **Programa Nacional das Alterações Climáticas (PNAC)** – é um programa englobado de medidas e políticas que visam o cumprimento do Protocolo de Quioto;
- **Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão para o período 2008-2012 (PNALE II)** – define as condições a que estão sujeitas as instalações que são abrangidas pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão de GEE (CELE);
- **Fundo Português do Carbono** – instrumento financeiro por parte do Estado Português para atuar no mercado de carbono e com o propósito de assegurar o cumprimento das metas estabelecidas no Protocolo de Quioto.

Para o período pós 2012, o Conselho de Ministros determinou a realização das seguintes políticas (APA@, 2015):

- **Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC)** – visa estabelecer um conjunto de políticas a cumprir e metas a atingir para reduzir as emissões de GEE. Deve ser baseado em cenários prospetivos e ter em consideração o objetivo comunitário estabelecido de emissões para 2050;
- **Programa Nacional para as Alterações Climáticas para o período 2013-2020 (PNAC 2020)**: Deve definir políticas, medidas e instrumentos com o objetivo de cumprir a limitação anual de emissões de GEE para os setores que não estão incluídos no CELE, e prever as responsabilidades setoriais, o financiamento e os mecanismos de monitorização e controlo;
- **Planos Setoriais de Baixo Carbono**: Cada um dos ministérios deve realizar um plano para a sua respetiva área de competência.

A União Europeia, através do pacote Energia-Clima, definiu como objetivo comunitário a redução de pelo menos 20% das emissões de GEE, até 2020, em relação a 1990. Assim, Portugal deverá limitar, entre 2013 e 2020, um aumento das emissões de GEE dos setores que não são abrangidos pelo CELE em 1% em relação a 2005 (APA@, 2015).

É apresentado na Figura 2.15 os principais vetores de descarbonização do Roteiro Nacional de Baixo Carbono.

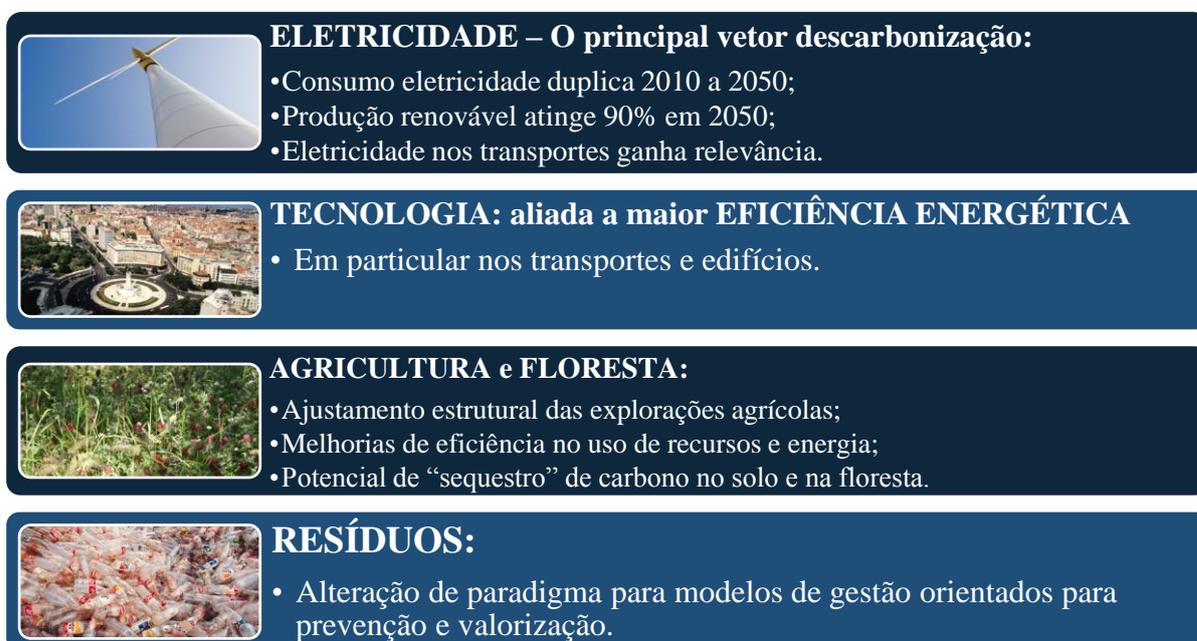


Figura 2.15 Principais vetores de descarbonização para o RNBC (RNBC, 2012).

Estão previstas as seguintes metas até 2050 face a 1990 (RNBC, 2012):

- **Setor energético:** redução de GEE de 60% a 70%, através da redução de 50% da dependência energética e aumento de 50%-60% da utilização de recursos endógenos;
- **Setor electroprodutor:** redução de GEE de 71% a 82%, através de energias renováveis;
- **Indústria:** redução de GEE de 33% a 53%, com uso de energia fóssil por captura e fornecimento de dióxido de carbono (CCS) e cogeração (em particular com biomassa e alteração de combustíveis);
- **Transportes:** redução de GEE de 64% a 85%, através de mobilidade elétrica, uso de biocombustíveis e meios de transporte a hidrogénio;
- **Resíduos:** redução de GEE de 39% a 53% com o fim de deposição direta de resíduos em aterro e alterações na gestão para prevenção e valorização;
- **Agricultura:** redução de GEE de 20% a 37% com melhorias de eficiência e uso de recursos, e com alterações no uso do solo e florestas.

O cumprimento do RNBC pode trazer vários benefícios para a economia, apresentados na Figura 2.16.



Figura 2.16 Benefícios da aplicação do RNBC (RNBC, 2012).

Uma solução para estabilizar as emissões antropogénicas de GEE por parte dos países desenvolvidos, envolve o investimento em investigação e desenvolvimento de energias renováveis, e tecnologias que evitem a emissão (por captura e retenção) de gases por parte da queima de combustíveis fósseis, em particular o carvão. Como objetivo de cumprimento desta solução, a União Europeia pretende, até ao final de 2015, ter 12 centrais de captura e retenção, de modo a que estejam a utilizar essas tecnologias obrigatoriamente a partir de 2020 (Santos, 2006).

É esperado que o setor de fornecimento de energia continue a ser o que mais contribui nas emissões de GEE para a atmosfera, com aumentos substanciais pelo uso de eletricidade dos edifícios e da indústria (IPCC, 2014b).

### 2.2.1 Zonas Urbanas

O **transporte** foi responsável por 27% do consumo de energia final (6,7 Mt  $CO_2$  de emissões diretas) em 2010, e perspectiva-se que para 2050 duplique, ou seja, é obrigatório que se pense nesta problemática e sejam implementadas medidas que consigam contrariar esta tendência (IPCC, 2014b).

É necessário uma melhor eficiência energética e melhorias no desempenho de veículos de modo a reduzir a procura final de energia de 30% a 50% até 2030. Um planeamento urbano integrado deve conter desenvolvimento orientado para o trânsito para evitar congestionamento e não aumentar as emissões, investimento a longo prazo de infraestruturas de vias para o ciclismo e caminhadas, e sistemas ferroviários de alta velocidade para reduzir distâncias e evitar a procura de viagens aéreas. Estas medidas de mitigação, apesar de terem resultados incertos, podem diminuir as emissões de GEE nos transportes de 20% a 50%, mas é necessário que as entidades gestoras deste setor façam campanhas e publicidade que incentive a população dos centros urbanos a utilizar transportes públicos e com preços acessíveis (IPCC, 2014b).

Energia de combustíveis com baixo teor em carbono é uma possibilidade em crescimento, que tem por base combustível com metano para veículos rodoviários. Combustíveis a hidrogénio com baixo teor de carbono é outra solução para reduzir as emissões de GEE que podem vir a crescer com o avanço da tecnologia (IPCC, 2014b).

Os **edifícios**, em 2010, foram responsáveis por 32% do consumo de energia final e emitiram 8.8Gt de  $CO_2$  direta e indiretamente, e é previsto um aumento na procura para o dobro até 2050. Este aumento de procura deve-se essencialmente à melhoria em termos de riqueza e bem-estar por parte da população, a um estilo de vida mais confortável, acesso a serviços energéticos mais sofisticados e ao urbanismo. Há que ter em atenção os riscos associados às infraestruturas dos edifícios, especialmente em regiões com um índice elevado de construção (IPCC, 2014b).

A modernização de edifícios para países desenvolvidos constitui uma boa medida de mitigação, podendo conseguir reduzir entre 50% a 90% do consumo de energia por aquecimento/arrefecimento devido ao melhor desempenho das novas tecnologias. Um dos instrumentos mais ambientalmente e economicamente eficientes na redução nas emissões de GEE, quando bem desempenhados e implementados, são os códigos de construção e de normas para os eletrodomésticos, que permitem reduzir substancialmente as emissões (IPCC, 2014b).

O setor da **indústria** foi responsável por 28% da utilização de energia final em 2010, emitindo cerca de 13Gt de  $CO_2$  e está previsto um aumento de emissões de 50% a 150% até 2050. A melhor medida para o setor da indústria seria investir na modernização de novas tecnologias, mais limpas e desenvolvidas energeticamente, sendo o único obstáculo os custos iniciais de investimento. Com a adoção de tecnologias recentes é possível obter uma maior

eficiência energética e reduzir as emissões de GEE com uma melhor eficiência na utilização de materiais, na reciclagem e na reutilização de produtos, na gestão de resíduos e na recuperação de energias (IPCC, 2014b).

### 2.2.2 Zonas Rurais

Nas zonas rurais residem cerca de 3.3 mil milhões de pessoas, quase metade da população mundial, e aproximadamente 90% dessas pessoas vivem em países em desenvolvimento. Estas zonas são caracterizadas pela dependência da agricultura e recursos naturais, como a água. Dessa forma, as zonas rurais são bastante vulneráveis aos impactos das alterações climáticas, pois os extremos da variabilidade climática acarretam problemas para a agricultura (IPCC, 2014b).

As principais medidas que permitem a redução das emissões de GEE é no setor da **Agricultura, Florestas e outros usos de terra (AFOLU)**, que inclui a desflorestação, as emissões agrícolas provenientes do uso do solo e da pecuária (IPCC, 2014b).

Estimativas recentes indicam uma diminuição na desflorestação e o aumento da arborização com o intuito de diminuir as emissões de  $CO_2$  no setor da AFOLU. Desempenha um papel muito importante para a segurança alimentar e desenvolvimento económico, tornando-se imprescindível reduzir os problemas causados na sua prática (IPCC, 2014b).

A mitigação mais rentável para as **florestas** é através da gestão sustentável da floresta, reduzindo a desflorestação. Ao reduzir a desflorestação, as florestas não deixam de absorver tanta quantidade de  $CO_2$  o que leva a que seja emitida menor quantidade desse gás para a atmosfera.

Quanto à **agricultura**, a gestão de solos agrícolas, a gestão de pastagens e a recuperação de solos orgânicos são as formas de mitigação mais económicas e rentáveis. Algumas mudanças na dieta dos animais e reduções na perda da cadeia de abastecimento alimentar poderá reduzir as emissões de GEE através da produção da sua alimentação (IPCC, 2014b).

A **energia nuclear** também pode ser uma opção pois é uma fonte de baixa emissão de gases com efeito de estufa, mas acarreta certos riscos de produção. Estes riscos têm vindo a diminuir desde 1993, tais como riscos operacionais, riscos de mineração de urânio, preocupações ambientais associadas, riscos financeiros, gestão de resíduos por resolver e proliferação de armas nucleares. Este tipo de produção de energia continua a ser estudado

com o objetivo de conseguir gerir os resíduos produzidos e eliminar ou reaproveitar os resíduos de forma segura e não prejudicial para o ambiente e os seres vivos (IPCC, 2014b).

As emissões de GEE podem ser reduzidas substancialmente, substituindo as fábricas de energia a carvão por fábricas modernas, altamente eficientes a gás natural com um ciclo de energia e produção combinado, desde que esse gás natural esteja disponível e seja livre de emissões associadas à sua extração (IPCC, 2014b).

O setor da **energia** é de elevada importância para a evolução da tecnologia e mitigação dos impactos causados pelas AC. Para mitigar as emissões de GEE, é necessário evoluir tecnologicamente de modo a substituir o uso de combustíveis fósseis para produção e uso de energia, optando por energias renováveis de mais baixo custo e mais eficientes (IPCC, 2014b).

Várias tecnologias de **energias renováveis** têm vindo a demonstrar melhorias significativas no desempenho e redução de custos, atingindo um nível tão importante que têm sido implementadas a grande escala. Essas energias renováveis, em 2012, representavam pouco mais de metade da geração de eletricidade, principalmente proveniente da energia hídrica, eólica e solar (IPCC, 2014b).

A **descarbonização** (reduzir a quantidade de carbono) na geração de energia elétrica é uma estratégia importante na redução de emissões de GEE, e assim alcançar níveis mais baixos de estabilização das emissões. É uma forma de reduzir as quantidades de carbono e é mais eficiente na geração de energia elétrica na indústria, nos edifícios e nos transportes. Em cenários de estabilização, espera-se que se consiga aumentar o fornecimento de eletricidade com baixo carbono (através de energias renováveis, energia nuclear e energia fóssil por captura e fornecimento de  $CO_2$ ) dos atuais 30% para mais de 80% em 2050, e eliminar quase na totalidade a geração de energia por combustíveis fósseis sem CCS até 2100 (IPCC, 2014b).

### 2.3 Medidas de Adaptação

Este subcapítulo fala sobre medidas de adaptação, que são medidas a ser tomadas para a minimização dos impactos negativos das alterações climáticas, nos sistemas biofísicos e socioeconómicos, de forma a tentar adaptar ao clima e tirar vantagem do mesmo.

Cada vez mais é necessário a adaptação ao clima atual. Um pouco por todo o mundo, incluindo Portugal, as pessoas, organizações e empresas têm vindo a adaptar-se ao clima em

---

---

que estão inseridos, organizando as suas atividades e locais onde vivem de modo a tirar o maior partido dos aspetos positivos e protegendo-se de eventuais problemas e limitações que a alteração do clima tem provocado em suas vidas.

O clima do Planeta está a sofrer diversas alterações, como por exemplo a bacia do Mediterrâneo, estando a ocorrer mudanças rápidas. As alterações no clima irão continuar a afetar a precipitação e a temperatura do ar, principalmente a frequência e intensidade de eventos meteorológicos extremos, como secas e ondas de calor. Com isto, é necessário enfrentar de forma estruturada esta tendência, prevenindo os seus efeitos negativos, capitalizando os seus benefícios e reduzindo os riscos e perdas (APA@, 2015).

Assim, é necessário uma resposta política em relação ao problema das AC, que requer uma ação energética, com a tomada de medidas que preparem a sociedade a lidar com os impactos biofísicos e socioeconómicos das alterações do clima.

A adaptação às AC é uma temática que está em crescimento e está a tornar-se uma prioridade das políticas públicas no que diz respeito ao clima. Portugal, recentemente adotou a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (EN AAC), e está ao encargo e responsabilidade da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) coordenar a implementação desta estratégia (APA@, 2015).

A EN AAC vem realçar e dar uma maior dimensão, a nível Nacional, à vertente da adaptação às AC, dando maior visibilidade pública e completando, não substituindo, os esforços que coletivamente os países de todo o mundo têm de fazer quanto ao controlo das emissões de GEE. A EN AAC foi adotada como Resolução de Conselho de Ministros n°24/2010 a 1 de Abril de 2010 e está estruturada em 4 grandes objetivos, são eles (APA@, 2015):

- **Informação e conhecimento:** é a base para a adaptação às AC e foca-se essencialmente na necessidade de consolidar e desenvolver uma base científica e técnica sólida. Deve identificar/antecipar as vulnerabilidades/ impactos das AC para os vários setores e as metodologias na identificação de medidas de adaptação, analisando a viabilidade e avaliando os custos e os benefícios;
- **Reduzir a vulnerabilidade e aumentar a capacidade de resposta:** é o ponto fundamental da EN AAC. Corresponde à identificação de medidas, definição de prioridades e aplicação das principais medidas de adaptação que reduzam a vulnerabilidade dos setores mais preocupantes e gravosos das alterações do clima. Tem também como objetivo a aplicação de ações que aumentem a eficiência da resposta aos impactos das AC, principalmente a fenómenos meteorológicos extremos;

- **Participar, sensibilizar e divulgar:** tem a tarefa de levar a todos os agentes sociais o conhecimento sobre as AC e dar a conhecer a necessidade de agir, e essencialmente suscitar a sua participação e envolvimento na definição e aplicação da estratégia. Assim, pretende dar a conhecer aos cidadãos e agentes sociais os principais impactos esperados, para promover boas práticas setoriais de adaptação;
- **Cooperar a nível internacional:** por fim, é necessário acompanhar as negociações internacionais sobre a adaptação às AC, apoiando a aplicação de ações em países mais vulneráveis, em particular países no Quadro da Comunidade de Países de Língua Portuguesa.

A aplicação da ENAAC está dividida em diversos setores, igualmente importantes, tendo no seu domínio a identificação de impactes e focar a sua atenção em definir medidas de adaptação. O fato de estar dividida em setores estratégicos permite identificar medidas de forma mais consistente. Porém, não devem ser totalmente independentes, devendo haver relações funcionais entre os diversos domínios e setores identificados, de modo a tentar maximizar o esforço de cooperação entre todos os setores. Assim, os vários setores em que se baseia esta estratégia de adaptação aos efeitos das AC são apresentados na Figura 2.17 (APA@, 2015).



Figura 2.17 Setores estratégicos da ENAAC (adaptado de APA@, 2015).

O desenvolvimento e aplicação da ENAAC requerem uma estrutura de organização flexível e dinâmica que possibilite a rentabilização de esforços e recursos, reforçando parcerias. É pretendido que mobilize a comunidade portuguesa, cada cidadão em particular e diferentes parceiros sociais, contendo ações que reduzam a vulnerabilidade às AC. Uma boa execução da estratégia necessita de mecanismos de acompanhamento, monitorização e avaliação. A sua aplicação está ao cargo da Comissão para as AC, apoiada pelo Comité Executivo, sendo esta

apoiada por um grupo de coordenação, pelos grupos de trabalho setorial e por um painel científico (APA@, 2015).

A metodologia da estratégia começa na definição de cenários climáticos e socioeconómicos, usados para prever e antecipar futuros impactes, sendo geralmente impactes negativos. É necessário uma resposta às AC que envolve um processo iterativo de gestão de risco, incluindo a **adaptação** e a **mitigação**, e tem em consideração os **prejuízos** das AC, os seus **benefícios**, a **sustentabilidade**, a **equidade** e a atitude perante o **risco**. Assim, o principal objetivo das medidas de adaptação às AC é de anular/reduzir o risco de danos, potenciar benefícios e reduzir/mitigar as consequências e impactos de fenómenos provocados pelas alterações do clima (APA@, 2015).

A Figura 2.18 ilustra as diferentes fases da metodologia em que consiste a identificação de medidas de adaptação ao clima (APA@, 2015).

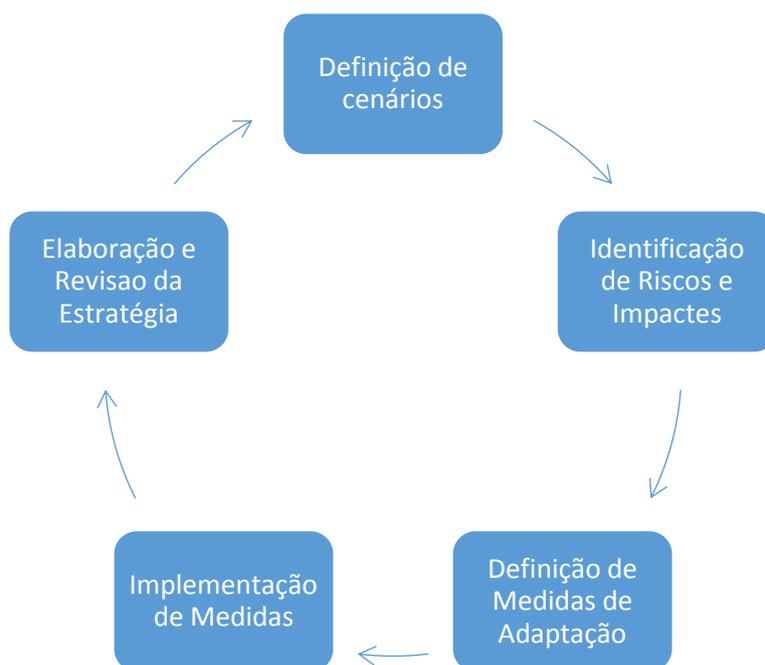


Figura 2.18 Abordagem metodológica à identificação e aplicação de medidas de adaptação (adaptado de APA@, 2015).

### 2.3.1 Zonas Urbanas

O risco de cheias nas cidades é um assunto que ao longo dos anos tem vindo a ser estudado, pois quando existem chuvadas bastante intensas em um curto período de tempo, e se não existir uma rede de drenagem suficientemente adequada para conseguir escoar todo o caudal, a população fica vulnerável e pode causar danos.

Devido ao aumento do efeito de estufa antropogénico, é esperado um aumento da frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação, e com isso é preciso que os centros urbanos estejam preparados para esses extremos: aos extremos máximos estará associado um certo risco de cheia. Outra preocupação é a subida do nível do mar que pode vir a trazer grandes problemas nas zonas urbanas costeiras e em especial nas infraestruturas de drenagem (Silva, 2012). A adaptação nas zonas urbanas é considerada por muitos como um dos maiores desafios do próximo século (Jones et al., 2012, citado em Silva, 2012).

Em relação às cheias urbanas, as abordagens mais usadas são as medidas de adaptação estruturais, que se baseiam em estruturas de engenharia. Visam essencialmente prevenir inundações, reduzindo o caudal que segue para o rio, como por exemplo, através de reservatórios com a capacidade de retenção de água. Estas medidas também podem ser diques, defesas temporárias, etc. (Bruij et al., 2009, retirado de Silva, 2012). Estas medidas são frequentemente aplicadas ao longo dos rios, nomeadamente através de controlo do rio. Ao longo da costa, muitas estruturas têm como finalidade reduzir o poder destrutivo das ondas, como os disjuntores de ondas (Silva e Costa, 2011).

Atualmente, o paradigma da problemática de cheias em zonas urbanas mudou de “controlo de cheias” para “gestão de risco de inundação” e de “reduzir a probabilidade de inundação” para “reduzir a vulnerabilidade da sociedade”. Com isto, estas são as prioridades da aplicação e implementação de medidas de adaptação para as zonas urbanas (Silva e Costa, 2011).

Têm vindo a ser criadas medidas mais respeitadoras pelo ambiente, englobadas no conceito de adaptação, tais como o modelo de “water square” (Boer et al., 2010) que contribui para a forma como se captura e utiliza o excesso temporário de água numa cidade, integrando as funções das infraestruturas com o urbanismo e com o design de espaços públicos, como praças de flutuação com piso rígido e flexível, entre outras (Silva e Costa, 2011).

Apesar das diferenças entre as várias medidas de adaptação, todas as medidas são importantes para a gestão de cheias e também têm como objetivo otimizar soluções de design. Deste

modo, na Figura 2.19 são apresentadas algumas medidas implementadas em Portugal, a respetiva descrição e uma imagem ilustrativa de um local de implementação (Silva e Costa, 2011).

<i>Medidas de Adaptação</i>	<i>Descrição</i>	<i>Imagem</i>
Controlo do rio	Conjunto de medidas da engenharia ao longo de um curso de água (alisamento, desvio, entre outras). Nas cidades, também pode significar para cobrir pequenos cursos de água, tornando-os úteis para a drenagem e permitindo que as ruas e edifícios sejam construídos.	 <p>Ribeira das Jardas, Cacém (e.g. Silva e Costa, 2011).</p>
Aterros	Permitem o crescimento de terra numa cidade. Dependendo da área, o terreno estará exposto aos interesses do município que pode ser utilizado para urbanização ou espaços urbanos. É uma estrutura cada vez mais comum nas cidades e muitos deles foram construídos na era industrial.	 <p>Belém, Lisboa (e.g. Silva e Costa, 2011).</p>
Melhoria na drenagem de águas pluviais	Consiste na reabilitação das principais instalações de drenagem existentes, ajustando-as ao projecto de infraestrutura urbana e às suas exigências.	 <p>Terreiro do Paço, Lisboa (e.g. Silva e Costa, 2011).</p>

Figura 2.19 Exemplos de medidas de adaptação em Portugal, para combater as cheias urbanas (adaptado de Silva e Costa, 2011).

<i>Medidas de Adaptação</i>	<i>Descrição</i>	<i>Imagem</i>
Bacias de captação, retenção e infiltração	Recebem água da chuva através de canais de rede de drenagem. São usadas para melhoria da qualidade da água, para recarga de águas subterrâneas, protecção a inundações e até em melhoria estética das áreas circundantes. São projetadas com capacidade de receber grandes quantidades de água, sendo as descargas limitadas apenas durante a ocorrência de precipitação extrema.	 <p>Quinta São Jerónimo, Coimbra.</p>
“Water squares”	Área urbana onde é temporariamente armazenada a água da chuva. É construído um sistema de separação do esgoto para ser armazenada apenas a água da chuva e é uma boa solução para cidades densamente povoadas onde a água não consegue fluir facilmente. O investimento é feito na conceção do espaço público.	 <p>Conceito “water square” (Boer et al., 2010).</p>

Figura 2.19 Exemplos de medidas de adaptação em Portugal, para combater as cheias urbanas (adaptado de Silva e Costa, 2011) (continuação).

Em Portugal, o nível de impermeabilização das zonas urbanas é elevado (LPN, 2014), o que aumenta o risco das zonas mais baixas das cidades e das povoações. Para proteger essas zonas, respetivos habitantes e infraestruturas e para travar o risco de inundações, é necessário aumentar a infiltração da água no solo, com o alargamento de zonas verdes e realizando alterações nas vias de comunicação e infraestruturas. São exemplos de infraestruturas verdes as cisternas, os telhados verdes e as hortas urbanas, importantes na redução de caudais de ponta e na poupança de energia (e.g. LPN, 2014).

### 2.3.2 Zonas Rurais

As zonas rurais, tal como as cidades, também têm uma certa vulnerabilidade às AC, associado ao perigo de cheias provocadas pelos extremos de precipitação.

A **agricultura** é um setor afetado pelas alterações do clima e muito vulnerável à sua variabilidade. A produtividade das culturas é diretamente afetada pelas mudanças no clima e pelas concentrações de GEE na atmosfera. Elevadas concentrações de GEE, estimulam a produtividade das plantas e aumentam a eficiência do uso de água. Contudo, temperaturas elevadas apressam o desenvolvimento fenológico das culturas e aumentam a necessidade de água (SIAM, 2001).

Com uma diminuição de precipitação causada pelas AC e possíveis secas, aumenta a necessidade de água para rega e essa falta de água pode causar stress hídrico nas culturas. Ou seja, a agricultura depende das alterações das concentrações de GEE, da temperatura do ar, da radiação solar e da precipitação (SIAM, 2001).

Para Portugal, as principais medidas de adaptação para combater as alterações provocadas na agricultura são a alteração nas datas de sementeira e colheira, a seleção e melhoramento das variedades que melhor se adaptam ao clima quente e seco. No sul de Portugal, uma vez que a disponibilidade de água tende a diminuir, a substituição das culturas poderá ser a melhor estratégia para uma maior eficiência no uso de água (SIAM, 2001).

As **barragens** são outra importante medida de adaptação às AC, uma vez que permitem o armazenamento de água quando existem caudais muito grandes devido a extremos de precipitação e, em caso de fogos florestais, é uma opção viável de fornecimento de água. Assim, as barragens permitem a retenção de grandes quantidades de água, que posteriormente permite a sua utilização em zonas agrícolas, zonas residenciais, zonas industriais, na regularização de caudais e na produção de energia elétrica.

### 2.3.3 Zonas Costeiras

Uma preocupação da atualidade e que se tem vindo a agravar nos últimos anos, são as **zonas costeiras**, principalmente com a subida do nível do mar.

As zonas costeiras são um dos ambientes mais produtivos e de mais alta diversidade biológica da Terra. Com os impactos resultantes do AG e do aumento do nível médio do mar, a preocupação com o aumento do risco de cheia, a aceleração da erosão costeira e aumento de inundações associado a tempestades é cada vez maior. Assim, têm sido tomadas uma série de medidas de adaptação para prevenir a contínua destruição da costa portuguesa com perigo para a população. Outros impactos que se têm verificado são a intrusão salina nos aquíferos de água doce e a penetração de água salgada nos estuários (SIAM, 2001).

A erosão costeira causa impactos significativos na maior parte da zona costeira portuguesa, em infraestruturas de zonas com desenvolvimento económico e em zonas não desenvolvidas. Verifica-se recuos na linha da costa em cerca de 1m/ano, redução no volume de sedimentos transportados para a zona costeira portuguesa devido à construção de barragens e de atividades resultantes de bacias hidrográficas, que aumentam a vulnerabilidade às AC das zonas costeiras, como a subida no nível médio do mar (SIAM, 2001). Deste modo, é necessário uma gestão integrada da zona costeira que evidencie o conhecimento e monitorização dos impactos das AC e respetivas medidas de adaptação.

Como exemplo de estratégias de adaptação para as zonas costeiras em Portugal, refere-se o enchimento do areal das praias com areia, a construção de paredões e esporões como medidas infraestruturais pesadas. Porém, existe uma necessidade de estudar os potenciais impactos das AC nas zonas costeiras para a implementação de novas medidas de adaptação na costa portuguesa. Para a implementação destas medidas, são tidos em conta, essencialmente os riscos de cheias, as probabilidades de inundação e os custos envolvidos, a erosão costeira, a intrusão salina, a penetração de água salgada nos estuários e os impactos em ecossistemas marinhos e costeiros específicos (SIAM, 2001).

### **3 MÉTODOS E MATERIAIS**

Neste capítulo, inicialmente apresenta-se a metodologia aplicada e, de seguida, explica-se a forma como foram tratados os dados de séries de Portugal Continental, assim como os respetivos métodos utilizados na sua análise. Após recolha e tratamento com base em dois testes estatísticos, os resultados obtidos na análise dos dados são comparados com estudos anteriormente realizados por outros autores. Por fim, com base na variabilidade da precipitação e temperatura do ar observada neste estudo, é feito um levantamento de medidas mitigadoras e de adaptação apropriadas para Portugal.

#### **3.1 Metodologia**

Com as manifestações cada vez mais evidentes do clima (como o aquecimento global), tem surgido uma preocupação acrescida pelo ambiente e pela saúde e bem estar do Homem. Então, o interesse pelo tema levou a efetuar esta dissertação de identificação de medidas mitigadoras e de adaptação face às alterações climáticas, tendo em conta a variabilidade meteorológica e hidrológica do passado, e as preocupações com o futuro da Terra, focando-se essencialmente em Portugal Continental.

Começou-se por fazer uma breve introdução para enquadrar o tema tratado na presente dissertação, seguida de revisão bibliográfica para entender os processos que envolvem o grande tema que são as alterações climáticas.

Na revisão bibliográfica fez-se um levantamento das causas que têm contribuído para as alterações no clima e, conseqüentemente, os impactos que têm causado no ambiente e nos seres humanos, assim como cenários esperados da precipitação, temperatura do ar e nível médio do mar. Também se teve em consideração o estudo de medidas mitigadoras e de adaptação. Estas medidas têm como objetivo travar a tendência de aumento de gases com efeito de estufa para a atmosfera e a adaptação ao atual clima, não comprometendo a vida das gerações futuras.

De seguida, foram recolhidos vários índices (disponíveis em ETCCDI@, 2015), selecionando-se os que se acharam mais relevantes para o tema tratado nesta dissertação, 6 para a precipitação e 4 para a temperatura do ar. Os vários índices são calculados a partir de séries diárias de precipitação e temperatura do ar em Portugal Continental, para 6 estações

climatológicas (Beja, Bragança, Coimbra, Lisboa, Porto e Tavira), entre 1941-2004. A razão do estudo não incluir dados até à atualidade, deve-se à indisponibilidade na plataforma de onde foram retirados.

Para a análise dos índices, foram utilizados dois testes estatísticos, o teste de Mann-Kendall e o teste de Sen, recorrendo a uma folha de cálculo (Salmi et al., 2002a). Os testes verificam se existem tendências estatisticamente significativas nas séries de dados a serem analisados. Ou seja, tem como principal objetivo identificar as alterações registadas no intervalo de tempo entre 1941-2004, em relação à precipitação e temperatura do ar, e perceber qual a tendência que se tem vindo a verificar nas 6 estações climatológicas estudadas.

Obtendo os resultados das tendências para as diferentes séries, os resultados foram comparados com estudos já realizados por outros autores sobre as tendências da precipitação e temperatura do ar em Portugal Continental, tais como, de Lima et al. (2005), Santos e Portela (2007), de Lima et al. (2013), de Lima et al. (2014) e Santo et al. (2014). A comparação dos resultados obtidos neste estudo com resultados anteriormente obtidos, tem por objetivo averiguar se os resultados são aceitáveis e semelhantes aos já concluídos por outros autores e desse modo, autenticar a confiança dos resultados obtidos nesta dissertação.

Por fim, em relação às medidas de mitigação e de adaptação, e tendo em conta as alterações da precipitação e temperatura do ar verificadas na análise do presente documento, foi realizada uma identificação de medidas que foram ou podem ser implementadas em Portugal, de modo a mitigar as consequências provocadas pela alteração do clima. A listagem de medidas foi realizada com base na revisão bibliográfica sobre medidas atualmente aplicadas por todo o mundo; analisando as condições climáticas de Portugal, foi possível identificar as que melhor se adequam a Portugal.

### 3.2 Séries Temporais

A avaliação de séries temporais baseia-se na análise de séries de dados de precipitação e temperatura do ar (disponíveis em ETCCDI@, 2015) em Portugal Continental, no período 1941-2004, nas estações climatológicas de Beja, Bragança, Coimbra, Lisboa, Porto e Távira. O mapa de localização das estações climatológicas em Portugal Continental encontra-se na Figura 3.1, enquanto os respetivos números de cada estação climatológica, latitudes, longitudes e altitudes estão apresentadas no Quadro 3.1.

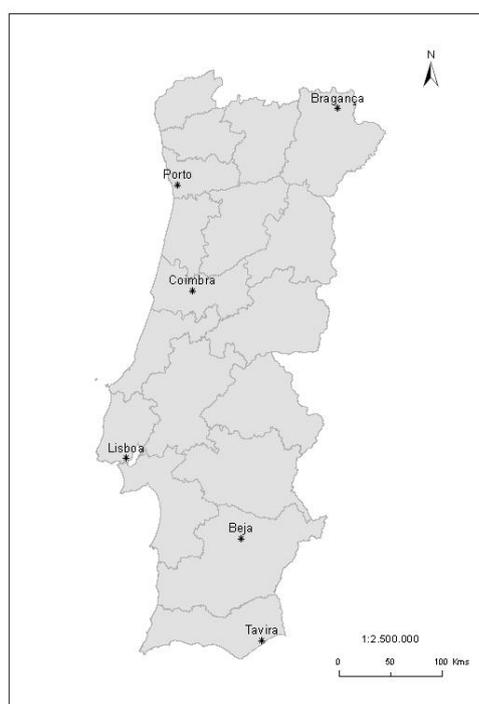


Figura 3.1 Localização das estações climatológicas em Portugal Continental.

Quadro 3.1 Latitude, longitude e altitude das 6 estações climatológicas em estudo (ETCCDI@, 2015).

<i>Estação</i>	<i>Latitude (N)</i>	<i>Longitude (W)</i>	<i>Altitude (m)</i>
Beja (176)	38°01'	7°52'	246
Bragança (177)	41°48'	6°44'	690
Coimbra (178)	40°12'	8°25'	141
Lisboa (179)	38°43'	9°09'	77
Porto (180)	41°07'	8°36'	93
Távira (181)	37°07'	7°39'	25

## **Precipitação:**

No que diz respeito ao estudo de tendência da precipitação em Portugal Continental, para as 6 estações climatológicas foram estudados 6 índices (sintetizados no Quadro 3.2), de modo a verificar como têm variado e se existem tendências estatisticamente significativas, de 1941 a 2004. Apenas são analisadas 6 estações climatológicas uma vez que não estão disponibilizados dados de outras estações (em ETCCDI@, 2015) ao longo do país, e considera-se como representativas de Portugal, duas no norte, duas no centro e duas no sul do país.

Primeiramente é avaliada a tendência da **precipitação total anual (PRECTOT)**. O estudo deste índice tem por fim identificar se se tem registado um acréscimo ou decréscimo na precipitação total em cada estação climatológica ao longo do respetivo intervalo de tempo.

De seguida, foi estudado o **número máximo de dias consecutivos secos (CDD)** em cada posto/estação. Os dados são anuais para perceber se tem existido tendência estatisticamente significativa de aumento/diminuição. É importante estudar este índice para perceber se existe tendência com possibilidade ou perigo de grandes secas que poderão acarretar grandes problemas para a disponibilidade de água, como por exemplo, na agricultura.

O estudo do índice **número máximo de dias seguidos com precipitação (CWD)**, ou seja, número de dias em que a precipitação é  $\geq 1\text{mm}$ . Visa verificar se existe tendência significativa no número de dias seguidos com chuva. O estudo desta série de dados torna-se importante para perceber se poderá haver perigo de cheias que poderão causar grandes problemas em várias zonas, principalmente em zonas que não tenham sido construídas com a capacidade de escoamento de grandes caudais. Este índice apenas indica a ocorrência de dias com precipitação, mas a possibilidade de ocorrência de cheia está relacionada com a quantidade precipitada, que para este índice não é possível saber.

Em relação à quantidade chovida são estudados mais dois índices, a **precipitação máxima em um só dia (RX1D)** e a **precipitação máxima em 5 dias consecutivos (RX5D)**. Esta análise é realizada anualmente para cada estação e também para um espaço de tempo mais curto, mensalmente. É importante o estudo destes 2 índices do ponto de vista de vulnerabilidade a fenómenos extremos de precipitação, como o risco de ocorrência de cheias.

Por fim, foi feita uma análise para o **número de dias de precipitação maior que 20mm/dia (R20)**, para um dado ano. Além da análise de tendência através do teste de Mann-Kendall e

teste de Sen, também é realizada uma análise estatística (utilizando os valores de RX1D) com o objetivo de obter o tempo de retorno, em anos, de uma chuvada de pelo menos 20mm/dia, para cada estação climatológica ao longo do respetivo intervalo de tempo e, verificar como varia espacialmente em Portugal Continental.

### Temperatura do ar:

Para compreender qual a influência das alterações climáticas na temperatura do ar em Portugal Continental, estudaram-se 4 índices de séries de dados. Apenas é apresentada análise para as estações climatológicas de Beja, Bragança, Porto e Tavira, devido a não existir dados em ETCCDI@, 2015 para Lisboa e Coimbra. O intervalo de tempo em estudo é 1941-2004.

Foram estudados 2 índices para a temperatura do ar mínima diária, **valor mínimo mensal da temperatura mínima diária (TNn)** e **valor máximo mensal da temperatura mínima diária (TNx)**, e 2 para a temperatura do ar máxima diária, **valor mínimo mensal da temperatura máxima diária (TXn)** e **valor máximo mensal da temperatura máxima diária (TXx)**. Ou seja, os 2 primeiros índices representam o intervalo de temperaturas do ar mínimas que se registaram ao longo do mês, enquanto o terceiro e quarto índices representam o intervalo de temperaturas do ar máximas que se registaram durante um certo mês, para uma determinada estação e ano.

Foram escolhidas estas séries para serem estudadas com a intenção de entender como têm reagido tanto as temperaturas do ar mínimas como as máximas em Portugal Continental perante o aquecimento global, e assim ter uma ideia de como têm evoluído as temperaturas do ar e como poderão continuar a evoluir.

Para de melhor forma se entender o que está a ser analisado, o Quadro 3.2 e Quadro 3.3 sintetizam os vários índices, em relação à precipitação e temperatura do ar, respetivamente.

Quadro 3.2 Índices estudados para a precipitação.

	<i>Índices</i>	<i>Definição</i>	<i>Unidades</i>
Persistência	CDD	Número máximo de dias consecutivos secos	dias
	CWD	Número máximo de dias seguidos com precipitação	dias
Intensidade	RX1D	Precipitação máxima em um só dia	mm
	RX5D	Precipitação máxima em 5 dias consecutivos	mm
	R20	Número de dias de precipitação $\geq 20$ mm	dias
	PRECTOT	Precipitação total anual	mm

Quadro 3.3 Índices estudados para a temperatura do ar.

<i>Índices</i>	<i>Definição</i>	<i>Unidades</i>
TNn	Valor mínimo mensal da temperatura mínima diária	°C
TNx	Valor máximo mensal da temperatura mínima diária	°C
TXn	Valor mínimo mensal da temperatura máxima diária	°C
TXx	Valor máximo mensal da temperatura máxima diária	°C

### 3.3 Modelos Aplicados

Na exploração das séries de dados, foi utilizada a folha de cálculo em Excel “MAKESENS 1.0, Mann-Kendall Test and Sen’s Slope Estimates for the Trend of Annual Data” (Salmi et al., 2002a). Esta folha de cálculo foi desenvolvida para detetar e estimar as tendências de séries históricas, neste caso de valores anuais e mensais de precipitação e temperatura do ar. Executa dois tipos de análises estatísticas, o teste de **Mann-Kendall** (Mann, 1945; Kendall, 1975) para verificar se existem tendências nos dados a serem estudados, e o teste de **Sen** (Sen, 1968) para verificar a magnitude da tendência. Ou seja, primeiramente foi testada a presença monótona de um aumento ou diminuição de tendência através do teste não paramétrico de Mann-Kendall, e de seguida foi estimada uma reta de tendência linear recorrendo ao teste não paramétrico de Sen.

O teste de **Mann-Kendall** (Mann, 1945; Kendall, 1975) é o método mais apropriado para analisar tendências em séries climatológicas. É um teste não paramétrico para tendências de séries temporais e foi aplicado aos casos em que os valores  $x_i$  de uma série temporal obedecem ao modelo da Equação 1 (e.g. Salmi et al., 2002b).

$$x_i = f(t_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Em que  $f(t_i)$  representa uma função monótona linear de aumento ou diminuição no tempo e  $\varepsilon_i$  é uma variável aleatória com uma distribuição de média igual a zero, relativamente a  $f(t_i)$ . No entanto, é assumido que a variância da distribuição é constante ao longo do tempo.

Quer-se estudar a hipótese alternativa  $H_1$ , que assume um aumento ou diminuição de uma tendência monótona que varia ao longo do tempo, contra a hipótese de inexistência de tendência,  $H_0$ , em que as observações  $x_i$  são aleatórias no tempo.

Neste estudo, foi usado a aproximação normal (teste estatístico  $Z$ ) pois os índices correspondem a séries com mais de 10 valores de dados.

O número de valores anuais da série a ser estudada é denominado por  $n$ , sendo que é permitido que haja valores em falta, o que por vezes acontece, e portanto é possível que  $n$  seja menor que o número de anos a serem estudados.

Inicialmente é calculado o valor de  $S$  através do teste estatístico de  $S$  (Gilbert, 1987), pela Equação 2:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

onde  $x_j$  e  $x_k$  são os dados anuais nos anos  $j$  e  $k$ ,  $j > k$ , respetivamente, e  $\text{sgn}(x_j - x_k)$  é calculado com base na Equação 3 (e.g. Salmi et al., 2002b):

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Considerando que a média de  $S$  é zero (Equação 4), é calculada a variância de  $S$  através da Equação 5 (Mann, 1945; Kendall, 1975):

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5)] \quad (5)$$

Por fim, obtém-se os resultados do teste estatístico  $Z$ , pela Equação 6 (Mann, 1945; Kendall, 1975).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Por isso, a existência ou inexistência de tendência estatisticamente significativa é avaliada através do valor  $Z$ . Se os valores de  $Z$  forem positivos, significa uma tendência crescente,

caso os valores sejam negativos é porque se está na presença de uma tendência decrescente. A significância pode ser avaliada através de  $\alpha$ .  $H_0$  é rejeitado se o valor absoluto de  $Z$  for maior que  $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ , onde  $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  é obtido pelo padrão de normalidade das tabelas de distribuição normal. Por exemplo, para um nível de 10% ( $\alpha = 0.1$ ) e consultando a tabela de distribuição normal, obtém-se  $Z = 1.645$ . Ou seja, se através do teste estatístico o valor de  $Z$  for  $\geq 1.645$ , significa que se está na presença de uma tendência estatisticamente significativa ao nível de 10%.

No teste de Mann-Kendall os níveis de significância  $\alpha$  testados são 0.001, 0.01, 0.05 e 0.1. O nível de significância de 0.001 significa que existe uma probabilidade de 0.1% de os valores de  $x_i$  serem independentes e distribuídos aleatoriamente ( $H_0$ ). Assim, para o nível de significância de 0.001, é de 99.9% a probabilidade para que se esteja perante uma tendência monótona nos dados estudados. Quanto ao valor de  $\alpha$  com significância maior ou igual a 0.1, significa que existe 10% de probabilidade de não existir tendência estatisticamente significativa nos dados ( $H_0$ ).

Deste modo, quando é realizado o teste estatístico de  $Z$ , a significância é identificada da seguinte forma (e.g. Salmi et al., 2002b):

***	Se esta tendência tiver $\alpha = 0.001$ de nível de significância;
**	Se esta tendência tiver $\alpha = 0.01$ de nível de significância;
*	Se esta tendência tiver $\alpha = 0.05$ de nível de significância;
+	Se esta tendência tiver $\alpha = 0.1$ de nível de significância.

O método de **Sen** (Sen, 1968) é utilizado para retirar o declive linear de uma tendência. Isto quer dizer que a função  $f(t)$  foi assumida da forma como é apresentada na Equação 7.

$$f(t) = Qt + B \quad (7)$$

Em que  $Q$  é tendência (declive da reta),  $B$  é uma constante, e  $t$  é o tempo expresso em anos.

De seguida, para calcular o declive da reta, são estimados todos os declives (tendências) entre cada par de variáveis  $j$  e  $k$ , através da Equação 8 (Sen, 1968).

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (8)$$

Onde  $j > k$

Ao existir  $n$  valores de  $x_j$  na série temporal, temos tantos  $N$ 's quanto  $N = \frac{n(n-1)}{2}$  para estimar o declive  $Q_i$ .

A estimativa do declive de Sen usa a mediana desses  $N$  valores de  $Q_i$ , são colocados por ordem crescente, e a estimativa de Sen é dada pela Equação 9 e Equação 10 (Sen, 1968).

$$Q = \frac{1}{2} \left( Q_{i\frac{N}{2}} + Q_{i\frac{N+2}{2}} \right) \quad \text{se } N \text{ é par} \quad (9)$$

$$Q = Q_{i\frac{N+1}{2}} \quad \text{se } N \text{ é ímpar} \quad (10)$$

Para o caso específico de uma chuva maior ou igual a 20mm/dia, foi realizado um estudo mais pormenorizado. O estudo teve por objetivo principal perceber como varia espacialmente o período de retorno e em que altura do ano é mais frequente a ocorrência de chuvas com mais de 20mm/dia (significa que chove 20 litros por  $m^2$ ), para Portugal Continental.

Começou-se por utilizar um **Método expedito** para fazer a análise de frequências empíricas do índice RX1D, para cada mês do ano e para cada estação. É baseado na ordenação, por ordem decrescente, dos dados de precipitação. Assim, sendo  $m$  o número de ordem atribuído a cada dado de uma série ordenada e  $n$  o número de anos analisados, é obtida a frequência/probabilidade com que foi igualada ou superada a precipitação de ordem  $m$  ( $x_m$ ) através do Método de Kimball, pela Equação 11.

$$P(x \geq x_m) = \frac{m}{n + 1} \quad (11)$$

Por fim, já com a probabilidade para cada chuva, é calculado o tempo de retorno, que é o intervalo de tempo médio que separa a ocorrência de precipitações iguais ou superiores a  $x_m$ , mostrado na Equação 12.

$$T(x \geq x_m) = \frac{1}{P(x \geq x_m)} \quad (12)$$

$T(x \geq x_m)$  é dado em anos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo destina-se à análise dos resultados obtidos no âmbito desta dissertação. Após serem analisados os diferentes índices de séries temporais para Portugal Continental, os resultados são comentados e comparados com estudos anteriormente realizados, com o objetivo de credibilizar os resultados obtidos no presente documento. Por fim, são apresentadas medidas de mitigação e de adaptação que se adequam às condições climáticas em Portugal.

### 4.1 Precipitação

Inicialmente estudou-se a tendência para o índice **PRECTOT**. Com os dados de precipitação em cada estação e ao longo do intervalo de tempo em estudo, constata-se, a partir do Quadro 4.1, que as estações mais chuvosas são a do Porto e de seguida a de Coimbra, com cerca de 1172mm e 963mm, respetivamente. Enquanto no sul do país, em Beja e Tavira, é onde se verifica menor ocorrência de precipitação.

Quadro 4.1 Precipitação total para cada estação climatológica.

	<i>Beja</i>	<i>Bragança</i>	<i>Coimbra</i>	<i>Lisboa</i>	<i>Porto</i>	<i>Tavira</i>
n (anos)	64	60	54	64	64	64
Média (mm/ano)	567	731	<b>963</b>	724	<b>1172</b>	542

No Quadro 4.2 apresentam-se os resultados do teste de Mann-Kendall para PRECTOT. Como se pode verificar, apenas em Bragança ocorre um aumento da quantidade precipitada, ilustrada na Figura 4.1, entre 1945-2004. Enquanto para as restantes estações ocorre uma diminuição da precipitação total anual, sendo de salientar Tavira, uma vez que é a única onde existe tendência significativa de “\*”, isto quer dizer que  $\alpha$  tem o valor de 0.05.

Quadro 4.2 Resultados do teste de Mann-Kendall para a precipitação total anual.

Cidades	Tendência de Mann-Kendall			
	1º Ano	Último ano	n	Teste Z
Beja	1941	2004	64	-0.66
<b>Bragança</b>	<b>1945</b>	<b>2004</b>	<b>60</b>	<b>0.91</b>
Coimbra	1941	1994	54	-0.10
Lisboa	1941	2004	64	-0.05
Porto	1941	2004	64	-0.15
Tavira	1941	2004	64	-2.07*

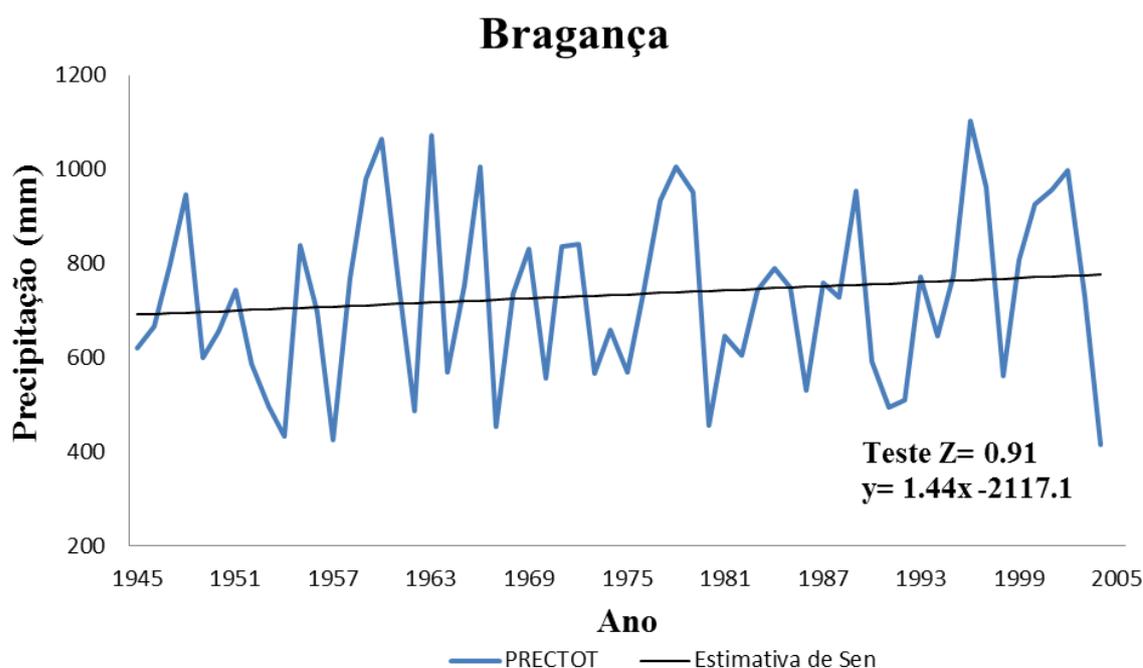


Figura 4.1 Tendência anual do índice PRECTOT para Bragança, entre 1945-2004. O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de PRECTOT e o y representa a equação da linha de tendência.

Na Figura 4.2 é apresentado o gráfico para as 6 estações climatológicas, em relação à precipitação total anual. Verifica-se grande irregularidade e oscilação ao longo dos anos mas com um ligeiro decréscimo, sensivelmente a partir de 1978. Apesar de os dados não apresentarem tendência substancialmente significativa, o facto de nas últimas 2 décadas

(1984-2004) se registar diminuição da quantidade precipitada, poderá ser uma manifestação das alterações climáticas, provocada pela Revolução Industrial.

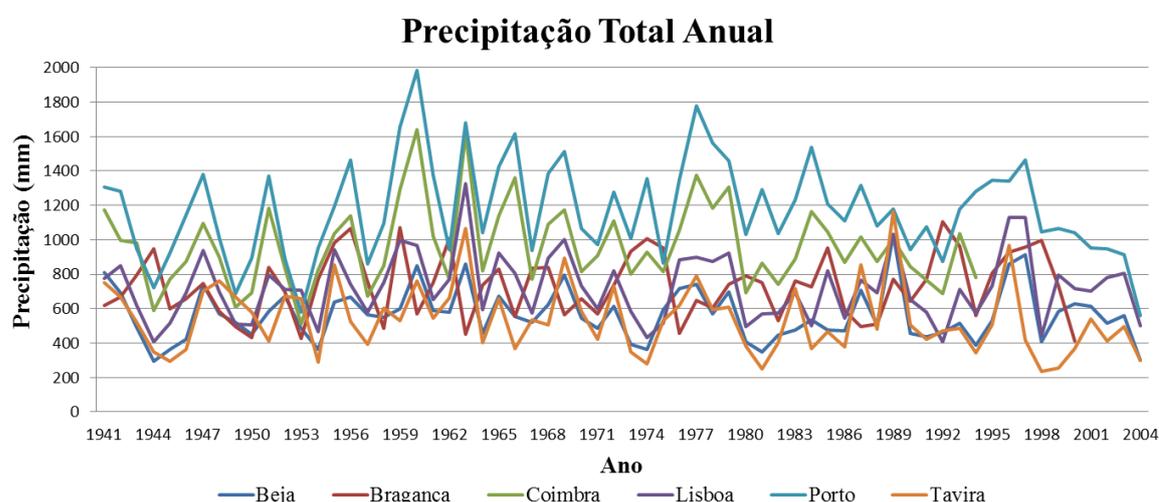


Figura 4.2 Tendência da precipitação total anual para as 6 estações em Portugal Continental, de 1941 a 2004.

Esta tendência já tinha sido anteriormente verificada por outros autores, tais como:

- Estudo realizado por de Lima et al. (2013) para o intervalo de tempo entre 1941-2012, em que foi verificada uma diminuição da precipitação total anual em 63% das 27 estações udométricas estudadas, e em 15% dos casos têm tendência estatisticamente significativa ao nível de 5%. Pode ser visto no Quadro 4.3;
- Em de Lima et al. (2014), para o intervalo de tempo entre 1941-2007, também se registou uma diminuição, na PRECTOT, em 79% das estações, em que 16% é estatisticamente significativo a um nível de significância de 5%. Pode ser visto no Quadro 4.4;
- Em de Lima et al. (2005), das 9 estações udométricas estudadas entre 1900 e 2000, os autores verificaram que em 56% das estações a tendência é de diminuição da precipitação total anual, mas sem tendência significativa de nível 5%;
- Em Santos e Portela (2007), dos 98 postos udométricos analisados para um período de 94 anos (1910-2004), 17 postos (17.4%) têm significância ao nível de 5%, dos quais 15 postos (88%) apresentam decréscimo na precipitação total anual.

A informação das tendências dos índices PRECTOT, CDD, CWD, RX1D, RX5D e R20, ao qual foram comparados os resultados obtidos neste estudo, estão apresentados no Quadro 4.3 e Quadro 4.4, de modo a ser de melhor perceção a análise comparativa.

Quadro 4.3 Tendência de 4 índices anuais de precipitação: percentagem das 27 estações com tendências positivas (+)/negativas (-) e correspondentes tendências estatisticamente significativas (Sig) ao nível de 5% (adaptado de de Lima et al., 2013).

Período	Índices				
		PRECTOT	CDD	CWD	RX5D
1941-2012	+	37	37	19	33
	Sig +	0	0	0	0
	-	63	63	81	67
	Sig -	15	0	7	22

Quadro 4.4 Tendência de 6 índices anuais de precipitação: percentagem das 57 estações com tendências positivas (+)/negativas (-) e correspondentes tendências estatisticamente significativas (Sig) ao nível de 5% (adaptado de de Lima et al., 2014).

Período	Índices						
		PRECTOT	CDD	CWD	RX1D	RX5D	R20
1941-2007	+	21	19	23	53	33	28
	Sig +	0	0	2	5	0	0
	-	79	81	77	47	67	72
	Sig -	16	18	11	5	14	16

Para o índice **CDD** verificou-se que os resultados não são estatisticamente significativos, ou seja,  $\alpha > 0.1$ . No Quadro 4.5 encontram-se os resultados do teste de Mann-Kendall, em que apenas nas estações no Sul do País, Beja e Tavira, verifica-se um aumento no número máximo de dias consecutivos sem chover.

Quadro 4.5 Resultados do teste de Mann-Kendall para CDD.

Cidades	Tendência de Mann-Kendall			
	Intervalo de tempo	n	Teste Z	Significância
Beja	1941-2004	64	0.28	> 0.10
Bragança	1945-2004	60	-0.80	> 0.10
Coimbra	1941-1994	54	-1.60	> 0.10
Lisboa	1941-2004	64	-0.24	> 0.10
Porto	1941-2004	64	-0.50	> 0.10
Tavira	1941-2004	64	1.07	> 0.10

O aumento nas duas estações climatológicas no sul do país pode significar problemas com a disponibilidade de água e secas extremas, principalmente no Verão. Porém, é em Coimbra que ao longo dos anos se verifica uma maior diferença no intervalo em estudo e por isso o declive da reta estimada no método de Sen é mais acentuada.

Apesar de ser em Coimbra que se regista uma maior variação em CDD, este resultado pode não ser representativo, uma vez que os dados analisados correspondem apenas até ao ano de 1994. Se existissem dados para a totalidade do intervalo de tempo em estudo, os resultados poderiam sofrer oscilações, como tendência significativa ou inexistência de tendência.

Na Figura 4.3 encontra-se esquematizado um gráfico com o resultado para a estação de Coimbra em relação ao índice CDD.

Deste modo, é esperado em Portugal Continental que o número máximo de dias consecutivos de precipitação < 1mm diminua. Caso se verifique, torna-se um fator positivo pois significa que chove com mais frequência e a possibilidade de secas extremas que acarretam grandes problemas na disponibilidade de água venham a diminuir.

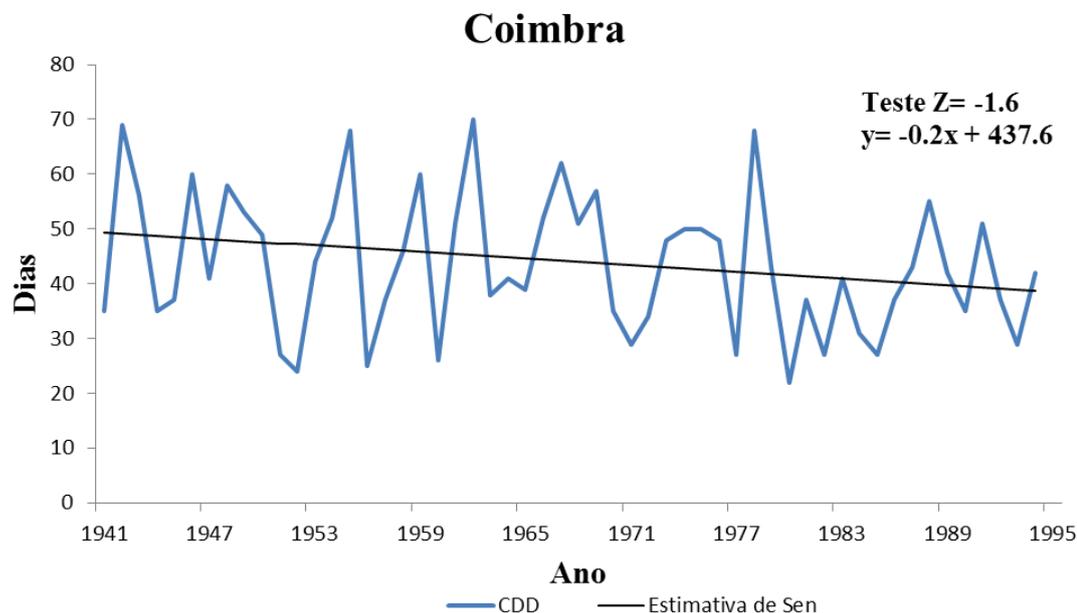


Figura 4.3 Tendência anual do índice CDD para Coimbra, entre 1941-1994. O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de CDD e o y representa a equação da linha de tendência.

Comparando os resultados com outros estudos, verifica-se semelhanças. Em de Lima et al. (2013), os autores verificaram que 63% das estações têm tendência de diminuição enquanto em de Lima et al. (2014) foi em 81% das estações. É também de referir que apenas em de Lima et al. (2014) os autores verificaram que 18% das estações tinham um nível de significância de 5%, como se pode verificar no Quadro 4.3 e Quadro 4.4.

No que diz respeito ao índice **CWD**, também não se encontra tendência estatisticamente significativa ao nível de 5%.

A Figura 4.4 apresenta as tendências para as 6 estações climatológicas através do resultado da tendência de Mann-Kendall, pelo teste  $Z$ , e da reta de tendência da estimativa de Sen, para o número de dias consecutivos com precipitação  $\geq 1$ mm. Verificou-se que para 4 das 6 estações ocorre uma diminuição para o máximo de dias consecutivos em que chove. Isto torna-se um fator positivo para as possibilidades de cheias, principalmente no que diz respeito às condições de escoamento de muito caudal em pouco tempo não sejam suficientes, para que não haja perigo de inundação.

Apesar de existirem mais estações com a tendência de diminuição para CWD, a Figura 4.4 mostra que para todas as estações, apesar das oscilações, não é significativo ao nível de 5%, e que em 4 das 6 estações o declive da linha de tendência de Sen é 0.

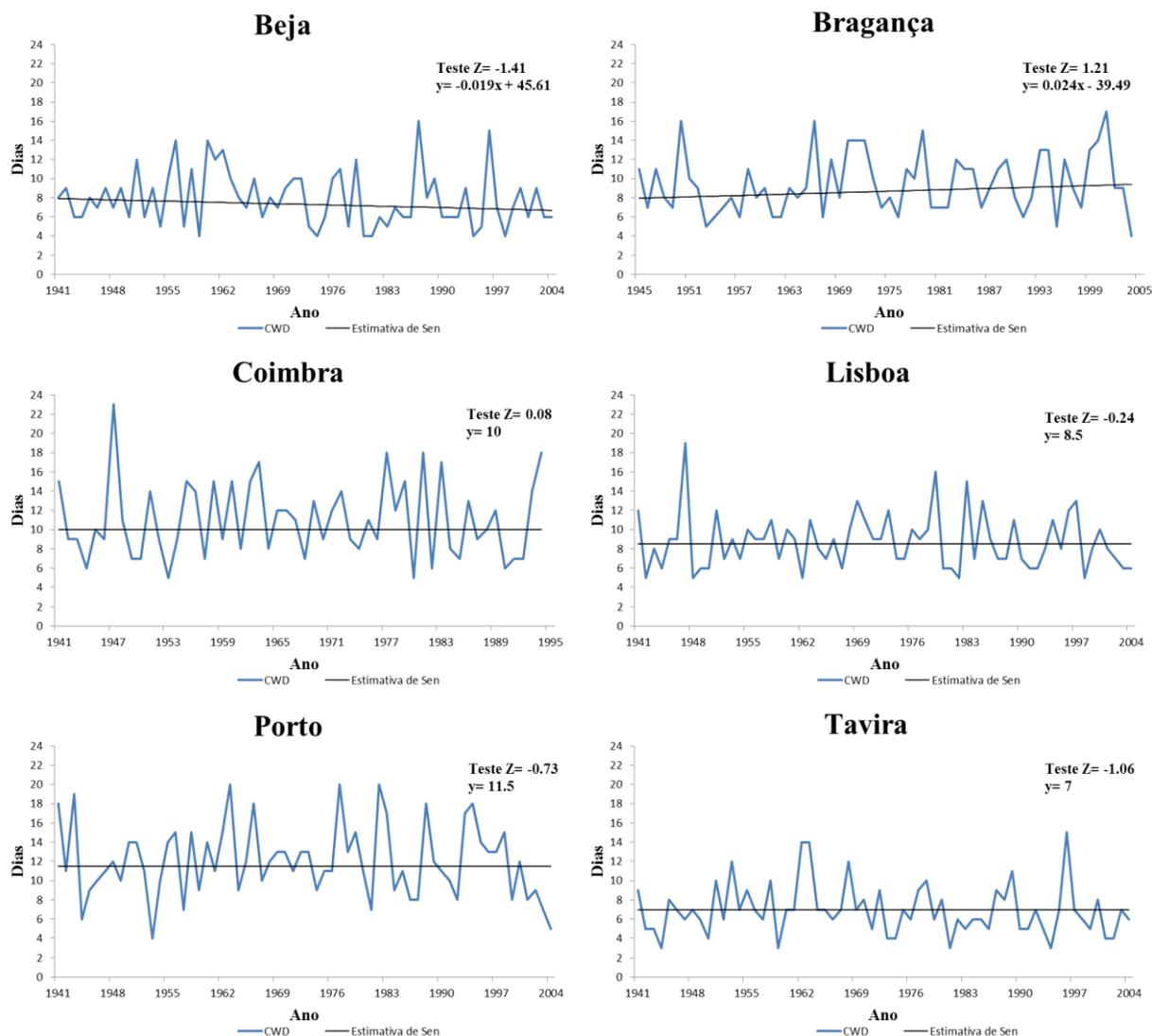


Figura 4.4 Tendência anual do índice CWD, para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de CWD e o y representa a equação da linha de tendência.

Em de Lima et al. (2014), os autores concluíram que entre 1941 e 2007 tem vindo a verificar-se uma diminuição em 77% das estações, das quais apenas 11% com nível de significância de 5%. Enquanto em de Lima et al. (2013), foi concluído pelos autores uma diminuição em 81% das estações ao qual 7% com significância a nível de 5%. Deste modo, o estudo para CWD tem concordância com os estudos anteriormente realizados por outros autores.

Para os índices **RX1D** e **RX5D**, inicialmente fez-se uma análise de tendência anual para cada estação. Apesar de haver grandes oscilações, os resultados não são explícitos de tendência estatisticamente significativa ao nível de 5%, e apenas em Tavira ocorre diminuição para ambos os índices. É possível verificar na Figura 4.5 e Figura 4.6, as tendências anuais para as 6 estações, relativamente a RX1D e RX5D.

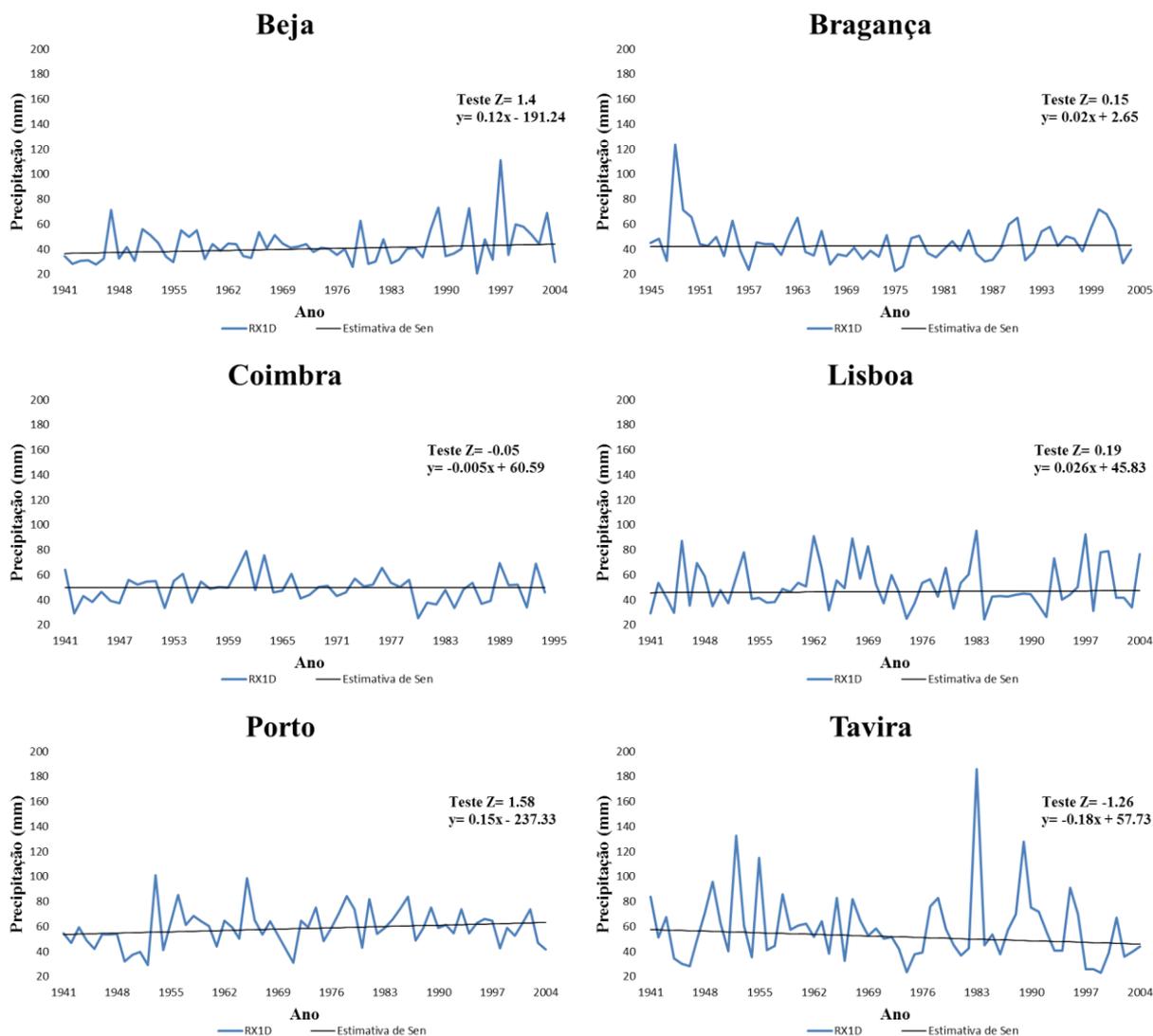


Figura 4.5 Tendência anual do índice RX1D, para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de RX1D e o y representa a equação da linha de tendência.

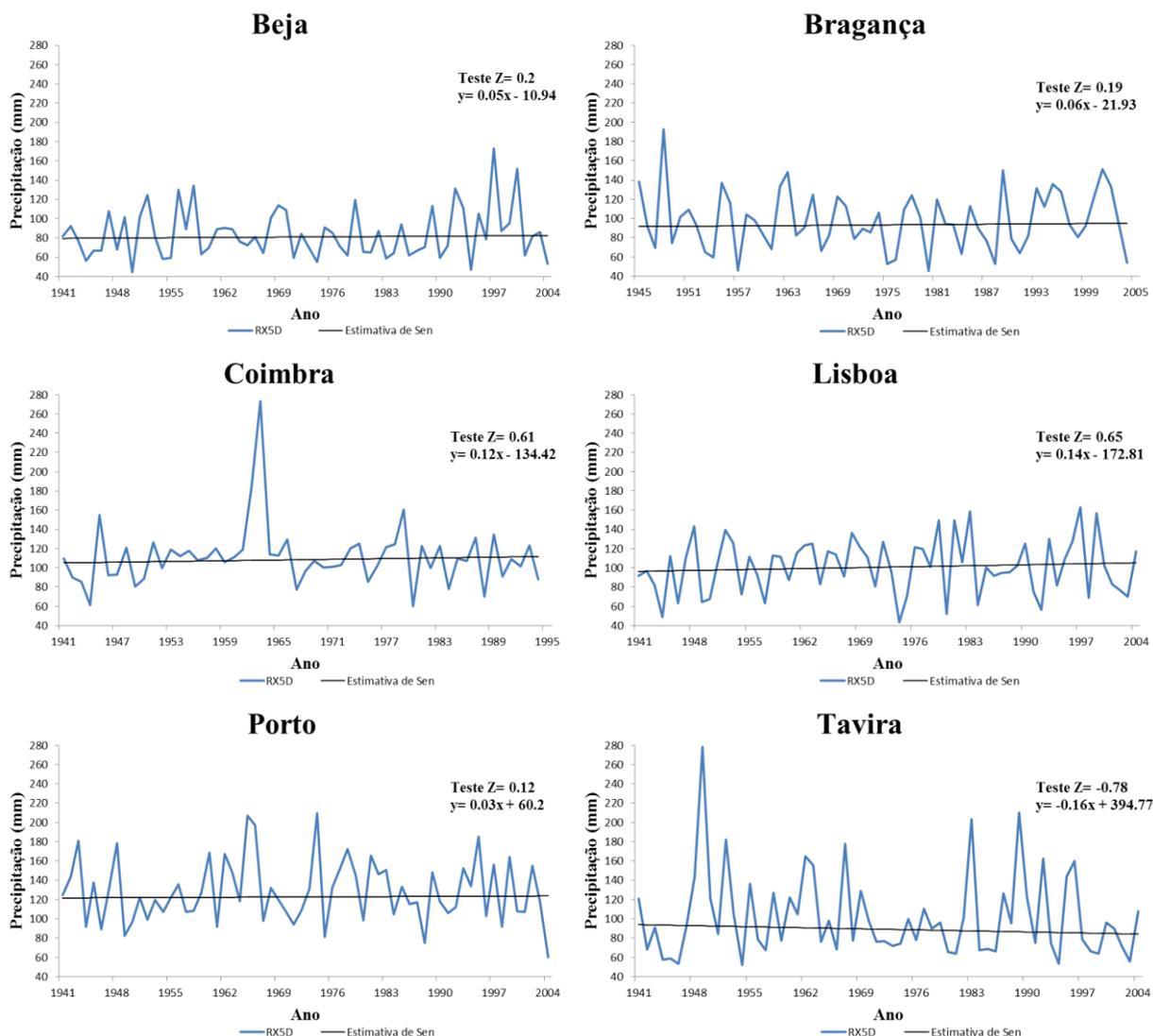


Figura 4.6 Tendência anual do índice RX5D, para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de RX5D e o y representa a equação da linha de tendência.

Como se pode verificar na Figura 4.6, existem 2 valores muito elevados para RX5D, em Coimbra e em Tavira, podendo tratar-se de um erro. Para Coimbra, constata-se que em 1963 ocorre uma precipitação acumulada em 5 dias consecutivos de 273mm. Apesar de ser um valor muito grande, pode ser considerado como possível uma vez que a precipitação total desse ano foi de 1614mm. Enquanto para Tavira, em 1949 verifica-se uma precipitação máxima em 5 dias consecutivos de 278mm e a precipitação total desse ano foi de 666mm.

Nesta situação, pensa-se que possa ser um erro, uma vez que está a dizer-se que em 5 dias seguidos chove quase metade do que choveu o ano todo, sendo pouco provável.

Os resultados apresentados na Figura 4.5 e Figura 4.6 não apresentam tendência estatisticamente significativa ao nível de 5%. Deste modo, decidiu-se realizar uma análise mensalmente para verificar se existem tendências significativas e para averiguar as diferenças ao longo dos vários meses do ano.

Na Figura 4.7 está ilustrado, para cada posto udométrico, o número de meses que no intervalo de tempo em estudo tem tendência de aumento (+) e de diminuição (-), não necessariamente com significância estatística. Enquanto no Quadro 4.6 e Quadro 4.7 estão apresentadas as tendências para as 6 estações climatológicas, para todos os meses do ano, relativamente a RX1D e RX5D, respetivamente.

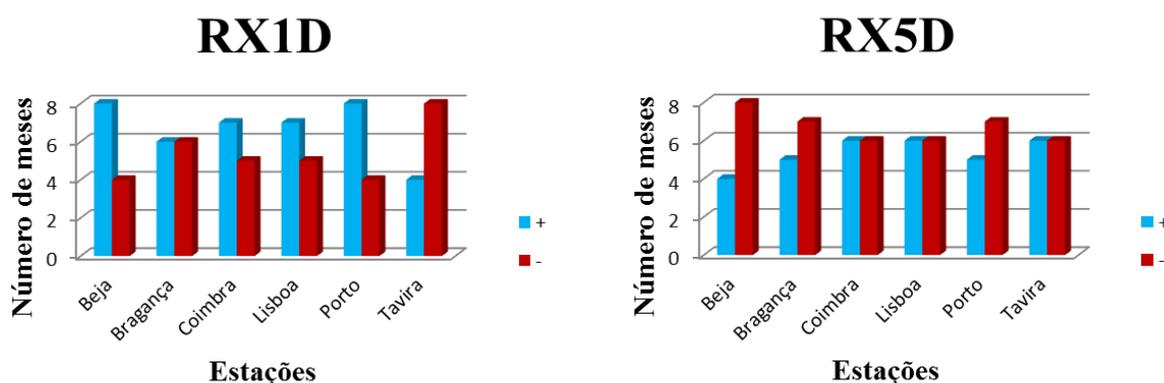


Figura 4.7 Número de meses em que se verifica aumento (+) ou diminuição (-) de RX1D (à esquerda) e RX5D (à direita) entre 1941-2004.

Quadro 4.6 Tendência das séries mensais de RX1D dos 6 postos udométricos (1941-2004), de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (\*\*\*), 1% (\*\*), 5% (\*) e 10% (+).

Estação	Período											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Beja			***							+		
Bragança			+					+			+	
Coimbra		+	+									
Lisboa			**									
Porto			+									
Tavira	*		**									

Quadro 4.7 Tendência das séries mensais de RX5D dos 6 postos udométricos (1941-2004), de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (\*\*\*), 1% (\*\*), 5% (\*) e 10% (+).

Estação	Período											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Beja			***						+	+		
Bragança			*					+		*		
Coimbra			**									
Lisboa			**									
Porto			**									
Tavira	+		**	+								

	Tendência de aumento estatisticamente significativo
	Tendência de diminuição estatisticamente significativa
	Ausência de tendência

Na Figura 4.7, verifica-se que, para RX1D, em 4 das 6 estações udométricas ocorre um aumento de precipitação máxima diária para a maioria dos meses; assim como na Figura 4.5 em 4 das 6 estações verifica-se aumento da precipitação máxima diária. Contudo, analisando a Quadro 4.6, é notório que os resultados estatisticamente significativos apontam para mais meses com uma diminuição neste índice. É de realçar o mês de Março, uma vez que para todas as estações udométricas, Março apresenta tendência muito significativa de diminuição.

Para RX5D, a Figura 4.7 indica uma tendência de diminuição em 3 das 6 estações, enquanto nas restantes o número de meses que aumenta iguala os que diminui. Analisando o Quadro 4.7, verifica-se novamente tendência estatisticamente significativa de diminuição no mês de Março em todas as estações climatológicas, mostrando apenas em Beja e Bragança 4 outros meses em que existe aumento estatisticamente significativo. Porém, analisando a Figura 4.6, é verificado que para 5 das 6 estações climatológicas, ocorre aumento na precipitação máxima em 5 dias consecutivos.

Para RX1D, Santos e Portela (2007) concluiu que 12.5% dos meses para as 97 estações, registaram tendência estatisticamente significativa, dos quais 84% são de decréscimo na precipitação. É de realçar que nesse estudo, dos 98 postos analisados, em apenas 7 deles o mês de Março apresenta tendência de aumento da precipitação, e na presente dissertação, em todos os postos há um decréscimo de RX1D para o mês de Março. Assim, tal como em Santos e Portela (2007), o mês de Março é o que apresenta um maior ênfase e uma diminuição muito mais acentuada que os restantes meses ao longo do ano.

Ainda para RX1D e em comparação com de Lima et al. (2014), não se verifica tendência clara, com um ligeiro aumento na precipitação máxima diária (53% dos postos aumenta e 47% diminui) e apenas 5% de ambas as tendências são estatisticamente significativos, como se pode ver no Quadro 4.4.

Para RX5D, segundo de Lima et al. (2013), 67% das 27 estações estudadas apresentam diminuição, em que 22% das estações que diminuem apresentam tendência estatisticamente significativa ao nível de 5% (Quadro 4.3). Enquanto em de Lima et al. (2014), 67% das 57 estações estudadas apresentam um decréscimo na precipitação, das quais 14% é estatisticamente significativo ao nível de 5% (Quadro 4.4). Assim, tal como estes 2 estudos, o presente documento também conclui um decréscimo em RX5D quando estudado mensalmente, mas quando é estudado anualmente, já não apresenta semelhanças.

Para melhor perceber a intensidade de precipitação de uma chuvada, é estudado o **número de dias com precipitação maior que 20mm/dia**. Verifica-se que não existe tendência estatisticamente significativa ao nível de 5% em nenhuma das estações e metade apresentam ligeiro aumento e enquanto as outras 3 apresentam uma pequena diminuição. Ou seja, para este índice os resultados apenas apresentam oscilações ao longo do tempo e não é claro a tendência de acréscimo ou decréscimo no número de dias por ano com precipitação maior ou igual que 20mm, como se pode verificar na Figura 4.8.

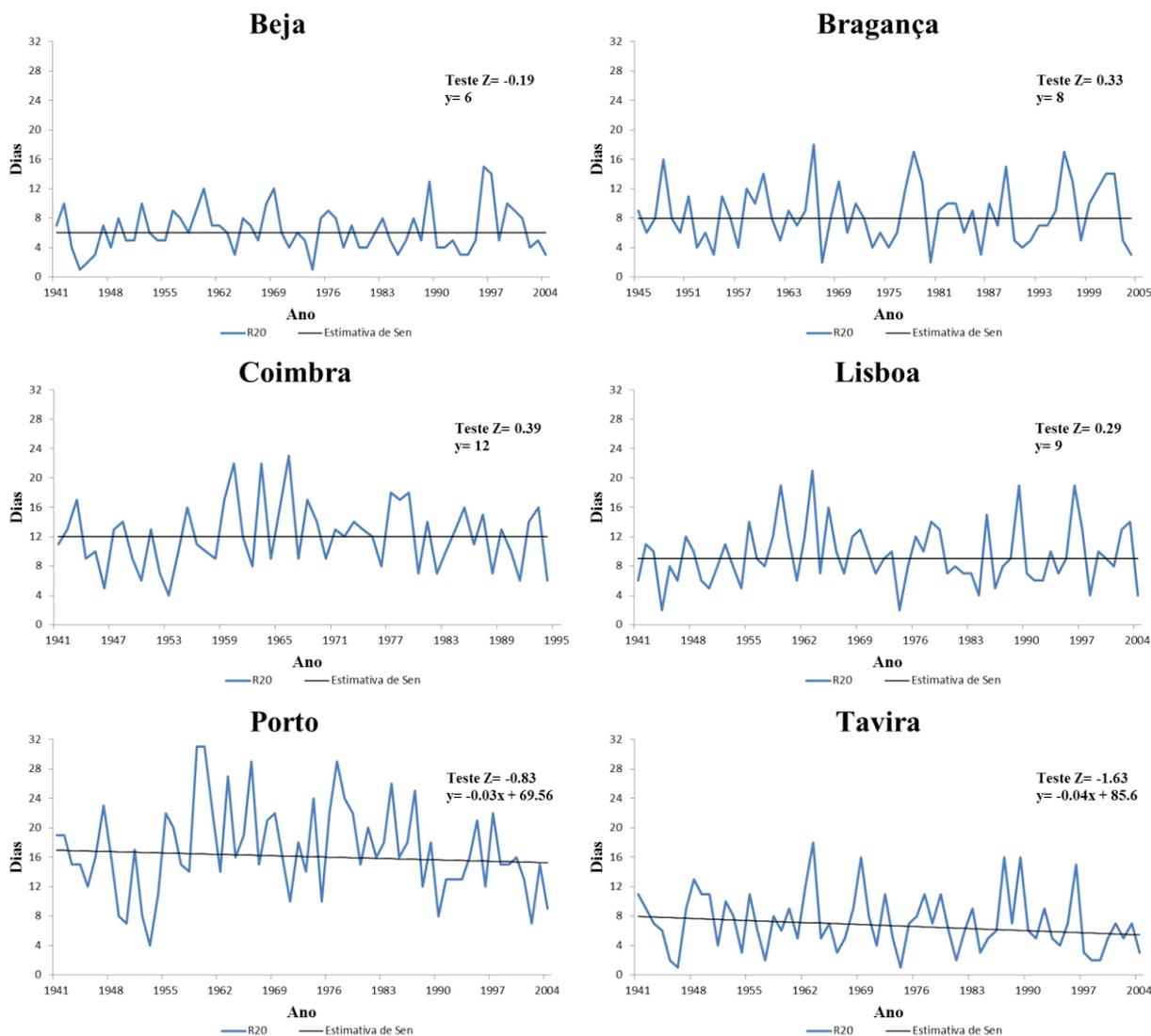


Figura 4.8 Tendência anual do índice R20, para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de R20 e o y representa a equação da linha de tendência.

Em de Lima et al. (2014) os autores verificaram que cerca de 72% das 57 estações udométricas tinham um decréscimo em R20 e que 16% das mesmas tinham significância de nível 5% (Quadro 4.4). No presente estudo, em 3 das 6 estações ocorre decréscimo no número de dias com precipitação maior ou igual que 20mm/dia e em nenhum posto udométrico se verifica tendência estatisticamente significativa.

Para este índice foi feita uma análise para calcular o tempo de retorno de uma chuvada diária de pelo menos 20mm. O resultado dessa análise encontra-se no Quadro 4.8 e para ser de melhor perceção, encontra-se na Figura 4.9 o respetivo gráfico de comparação entre as várias estações. Também é indicado as latitudes de cada posto udométrico de modo a perceber como varia espacialmente em Portugal Continental.

Quadro 4.8 Período de retorno para uma chuvada diária de pelo menos 20mm, para as 6 estações, entre 1941-2004.

<i>Estação</i>	<i>Jan.</i>	<i>Fev.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Abr.</i>	<i>Mai.</i>	<i>Jun.</i>	<i>Jul.</i>	<i>Ago.</i>	<i>Set.</i>	<i>Out.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dez.</i>
<b>Beja</b>	2.45	2.50	1.78	2.57	4.33	6.50	65.00	40.15	3.52	2.25	2.00	1.71
<b>Bragança</b>	1.60	2.24	2.14	2.74	3.02	3.39	9.42	7.90	2.74	1.91	1.74	1.97
<b>Coimbra</b>	1.46	1.72	1.84	1.68	1.77	2.62	8.30	8.26	2.30	1.64	1.42	1.45
<b>Lisboa</b>	1.35	1.79	1.86	2.37	2.98	7.71	23.21	17.02	3.71	1.89	1.46	1.64
<b>Porto</b>	1.28	1.34	1.48	1.55	1.52	3.06	11.12	4.11	1.86	1.40	1.26	1.26
<b>Tavira</b>	1.73	1.91	2.50	3.94	6.02	10.30	65.00	65.00	6.59	2.10	1.55	1.71

### Tempo de retorno para chuvada diária de 20mm

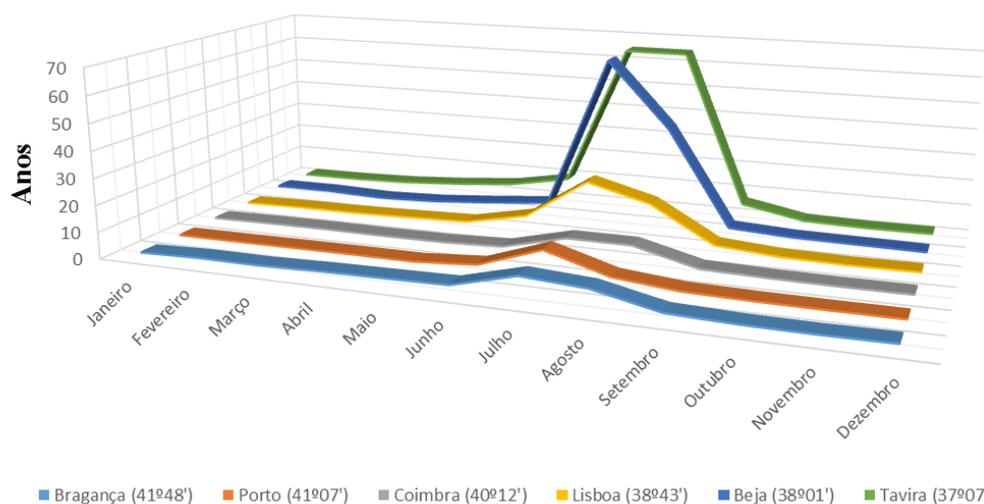


Figura 4.9 Períodos de retorno para uma chuvada diária de 20mm, para todos os meses do ano e para cada estação (seguido da respetiva latitude), entre 1941-2004.

Ao calcular o tempo de retorno para cada mês e em cada estação, entre 1941-2004, através da ordenação decrescente das precipitações mensais e seguido do uso do método de Kimball, verifica-se que é no Verão (Julho e Agosto) em que ocorre menos chuvadas diárias de 20mm, com períodos de retorno muito grandes. Para Tavira e Beja, quando se verifica um período de retorno de 65 anos na Figura 4.9, significa que nos 64 anos que foram estudados, a precipitação diária nesse mês e para essa estação foi sempre menor que 20mm. Para o Outono e Inverno, em média, o tempo de retorno ronda os 2 anos, ou seja, de 2 em 2 anos é possível que aconteça uma chuvada diária de 20mm ou superior, aumentando ligeiramente na Primavera.

Quanto às diferenças de norte a sul de Portugal, a Figura 4.9 mostra que é no sul do país que ocorre com menor regularidade chuvadas de 20mm/dia, podendo acarretar problemas na disponibilidade de água, principalmente no Verão. Assim, verifica-se que o tempo de retorno varia espacialmente em Portugal Continental, com tendência de ser maior no sul do país e menor no norte. Isto significa que ocorre menor precipitação no sul do país que no norte.

## 4.2 Temperatura do ar

Para o estudo de temperaturas do ar mínimas e máximas em Portugal Continental, usaram-se dados das estações climatológicas de Beja, Bragança, Porto e Tavira.

Primeiramente é analisado o índice **TNn** e **TNx**, em que no Quadro 4.9 e Quadro 4.10, respetivamente, pode ser visto o resultado de tendência estatisticamente significativa através do teste de Mann-Kendall e teste de Sen, para as 4 estações mensalmente. No Quadro 4.11 é apresentado o resultado anualmente da tendência estatisticamente significativa para as 4 estações, entre 1941-2004.

O sombreado a azul/vermelho, significa que para um determinado mês e estação, ao longo do intervalo de tempo em estudo, ocorre uma tendência estatisticamente significativa de nível de 0.1% (\*\*\*), 1% (\*\*), 5% (\*) e 10% (+), de aumento/diminuição. Para os meses e estações em branco, significa que apesar de poder existir aumentos e/ou diminuições nas séries estudadas, essas variações não são estatisticamente significativas ao nível de 10%.

Quadro 4.9 Tendência das séries mensais de TNn, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (\*\*\*), 1% (\*\*), 5% (\*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

	<b>TNn</b>											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Beja		+	**	+			+	***	+			**
Bragança				+	+							
Porto	***	**	+				**	+	*	**	+	**
Tavira	***	***	***		**	**	***	*	**	**		***

É evidente a tendência de aumento estatisticamente significativo do valor mínimo da temperatura do ar mínima. Em 54% dos meses verificou-se aumento significativo, em apenas 4% (2 meses) dos meses verificou-se diminuição significativa da temperatura do ar mínima e, nos restantes meses, não existe tendência estatisticamente significativa.

Quadro 4.10 Tendência das séries mensais de TN<sub>x</sub>, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (\*\*\*), 1% (\*\*), 5% (\*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

	TN <sub>x</sub>											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Beja			**	+		*	*				**	**
Bragança		+			+						**	*
Porto	+	**	*		*		**	**	***		**	**
Tavira	+	+	+				*				**	+

Ao analisar o Quadro 4.10, verifica-se que apenas existe tendência significativa de acréscimo para o valor máximo da temperatura do ar mínima, cerca de 52% dos meses. Assim, torna-se bastante evidente no índice TN<sub>x</sub> uma das manifestações das alterações climáticas, com o aumento da temperatura do ar.

Quadro 4.11 Tendência das séries anuais de TN<sub>n</sub> e TN<sub>x</sub>, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (\*\*\*), 1% (\*\*), 5% (\*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

Estação	Anual	
	TN <sub>n</sub>	TN <sub>x</sub>
Beja	**	*
Bragança		
Porto	***	***
Tavira	***	+

O Quadro 4.11 foi obtido através do valor mínimo e máximo anual de TN<sub>n</sub> e TN<sub>x</sub>, respetivamente, e novamente se conclui uma clara tendência de aumento da temperatura do ar mínima. Apenas para a estação de Bragança os resultados não apresentam tendência significativa a nível de 10%. Para ser de mais fácil visualização, a Figura 4.10, Figura 4.11, Figura 4.12 e Figura 4.13 apresentam os gráficos para Beja, Bragança, Porto e Tavira, respetivamente, para os índices TN<sub>n</sub> e TN<sub>x</sub>.

Tal como o Quadro 4.11 mostra, a Figura 4.10, Figura 4.12 e Figura 4.13 ilustram a clara evidência de aumento do valor mínimo e máximo da temperatura do ar mínima em Portugal Continental, nas estações de Beja, Porto e Tavira, respetivamente. Em relação a Bragança, como se pode ver na Figura 4.11, apesar de também existir aumento em TN<sub>n</sub> e TN<sub>x</sub>, esse aumento não é significativo ao nível de 10%.

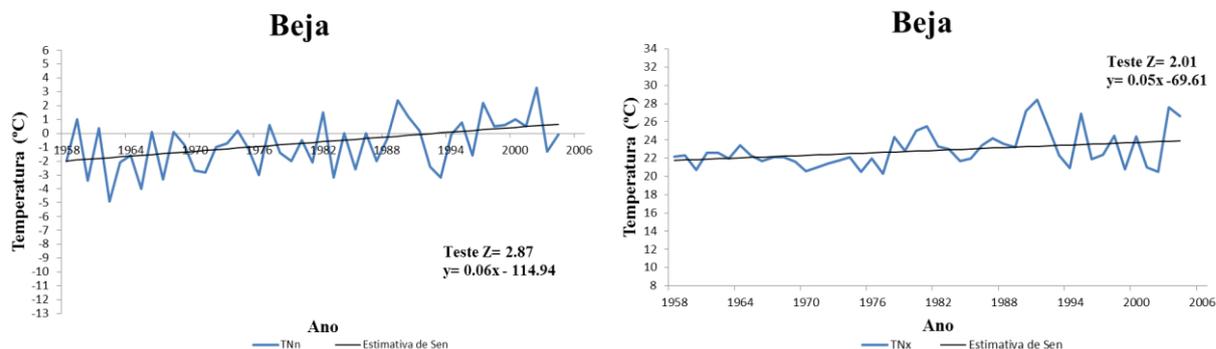


Figura 4.10 Tendência das séries TNn (à esquerda) e TNx (à direita), para Beja (1958-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TNn e TNx, e y representa a equação da linha de tendência.

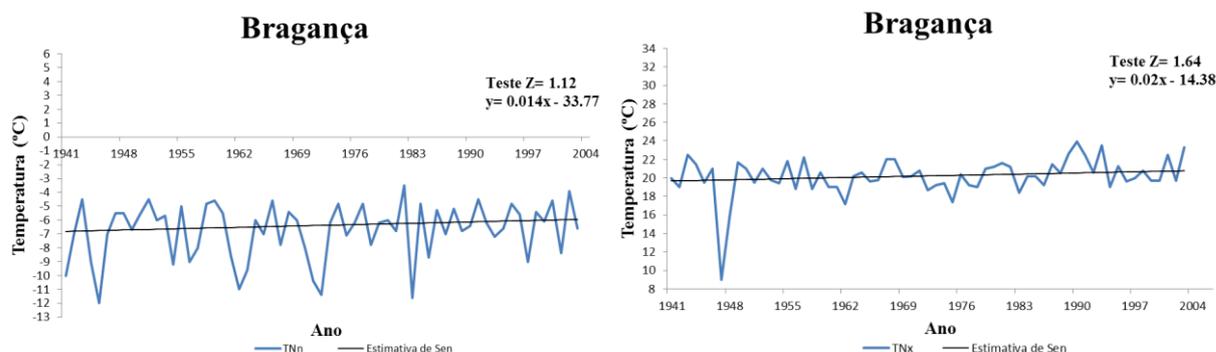


Figura 4.11 Tendência das séries TNn (à esquerda) e TNx (à direita), para Bragança (1941-2003). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TNn e TNx, e y representa a equação da linha de tendência.

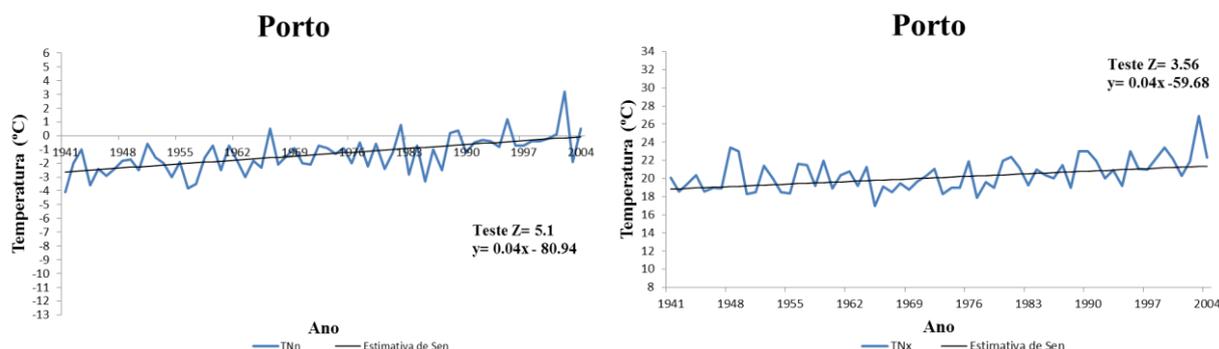


Figura 4.12 Tendência das séries TNn (à esquerda) e TNx (à direita), para Porto (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TNn e TNx, e y representa a equação da linha de tendência.

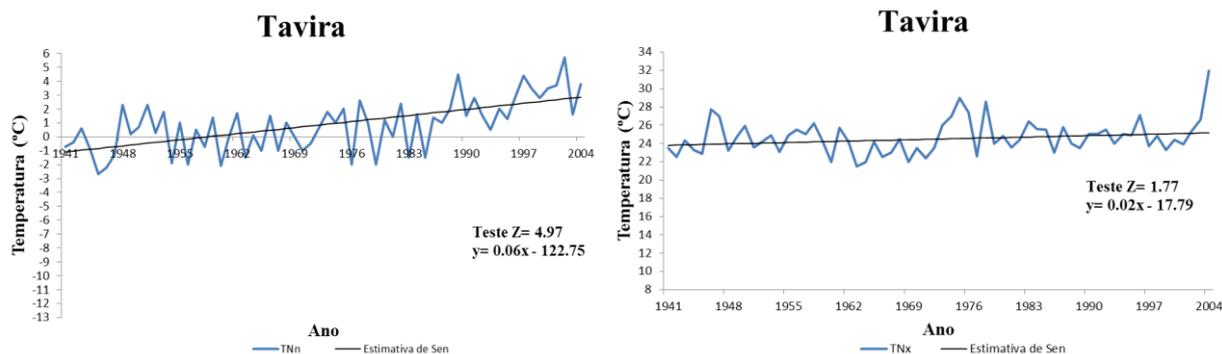


Figura 4.13 Tendência das séries TNn (à esquerda) e TNx (à direita), anualmente, para Tavira (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TNn e TNx, e y representa a equação da linha de tendência.

Em Santo et al. (2014) os autores analisaram a tendência para 23 estações climatológicas e verificaram que para TNn, na Primavera, não ocorre aumento ou diminuição de temperatura ao longo do intervalo de tempo estudado. Para as restantes estações do ano, verificaram um aumento de temperatura do ar mínima em 96%, 87% e 100% das estações climatológicas em estudo, em que 55%, 35% e 57% têm tendência estatisticamente significativa ao nível de 5%, para o Verão, Outono e Inverno, respetivamente.

Relativamente ao índice TNx, em Santo et al. (2014), os autores verificaram uma tendência clara de aumento deste índice, ao longo do ano, em 95% dos postos analisados. Quanto à significância, ronda os 38% das estações ao nível de 5%. No presente estudo, todos os resultados obtidos mensalmente e com tendência estatisticamente significativa, demonstram acréscimo em TNx.

Deste modo, tal como foi concluído como resultado no presente estudo, é evidente o aumento da temperatura do ar mínima nas estações de Beja, Bragança, Porto e Tavira, de 1941 a 2004.

Em relação aos índices **TXn** e **TXx**, os resultados das tendências mensais entre 1941-2004, para as 4 estações, encontram-se apresentadas no Quadro 4.12 e Quadro 4.13, respetivamente. No Quadro 4.14 estão apresentadas as tendências anuais para TXn e TXx para as 4 estações.

Quadro 4.12 Tendência das séries mensais de TXn, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (\*\*\*), 1% (\*\*), 5% (\*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

Estação	TXn											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Beja			*			*						*
Bragança		**										
Porto				+				+				
Tavira	**	+						+				*

Quadro 4.13 Tendência das séries mensais de TXx, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (\*\*\*), 1% (\*\*), 5% (\*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

Estação	TXx											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Beja			**	+		*	+					**
Bragança	**	+	*		+			**			+	**
Porto										*		
Tavira	*		**									

Quadro 4.14 Tendência das séries anuais de TXn e TXx, de tendência estatisticamente significativa ao nível de 0.1% (\*\*\*), 1% (\*\*), 5% (\*) e 10% (+), para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

Estação	Anual	
	TXn	TXx
Beja		
Bragança		+
Porto	*	
Tavira	**	

Ao analisar o Quadro 4.12 e Quadro 4.13 constata-se o aumento na temperatura do ar máxima entre 1941-2004. Verifica-se um aumento mais acentuado em TXx para um maior número de meses que em TXn, e é no Inverno onde se regista um aumento mais significativo. O Quadro 4.14 apresenta para cada estação climatológica a tendência para os anos em estudo, e mostra que para o Porto e Tavira ocorre tendência significativa de acréscimo para TXn e que para TXx, apenas em Bragança é significativo esse aumento.

Em complemento ao Quadro 4.14, é apresentado a Figura 4.14, Figura 4.15, Figura 4.16 e Figura 4.17 para ser de mais fácil perceção as oscilações na temperatura do ar máxima para as 4 estações climatológicas, em relação a TXn e TXx.

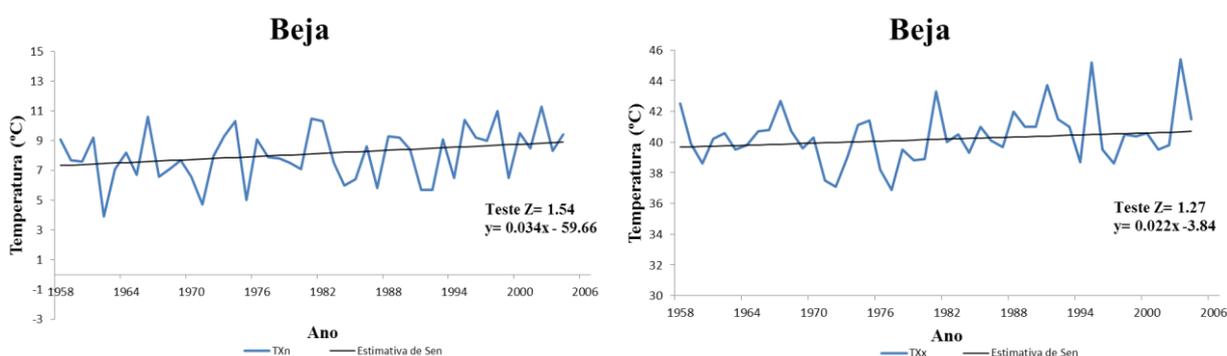


Figura 4.14 Tendência anual das séries de TXn (à esquerda) e TXx (à direita), para Beja (1958-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TXn e TXx, e y representa a equação da linha de tendência.

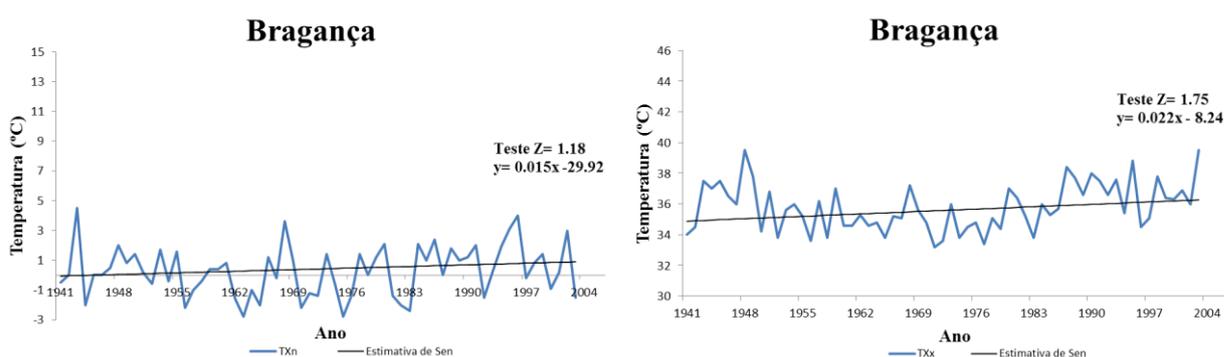


Figura 4.15 Tendência anual das séries de TXn (à esquerda) e TXx (à direita), para Bragança (1941-2003). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TXn e TXx, e y representa a equação da linha de tendência.

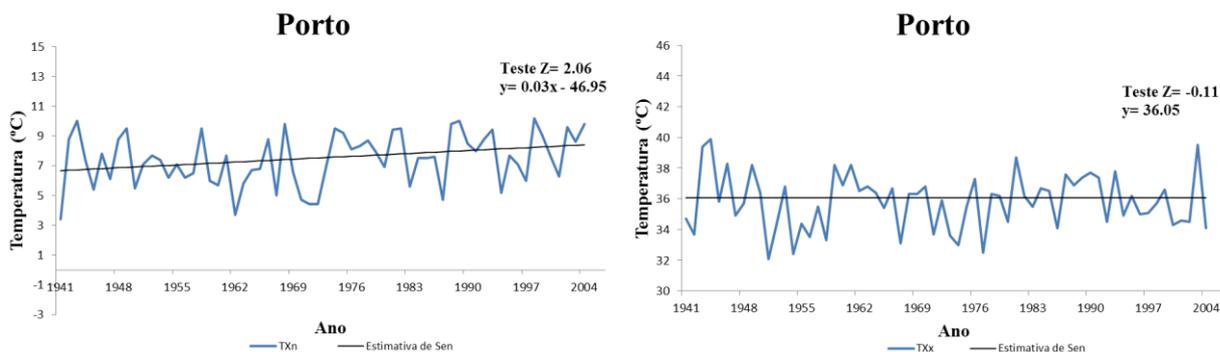


Figura 4.16 Tendência anual das séries de TXn (à esquerda) e TXx (à direita), para Porto (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TXn e TXx, e y representa a equação da linha de tendência.

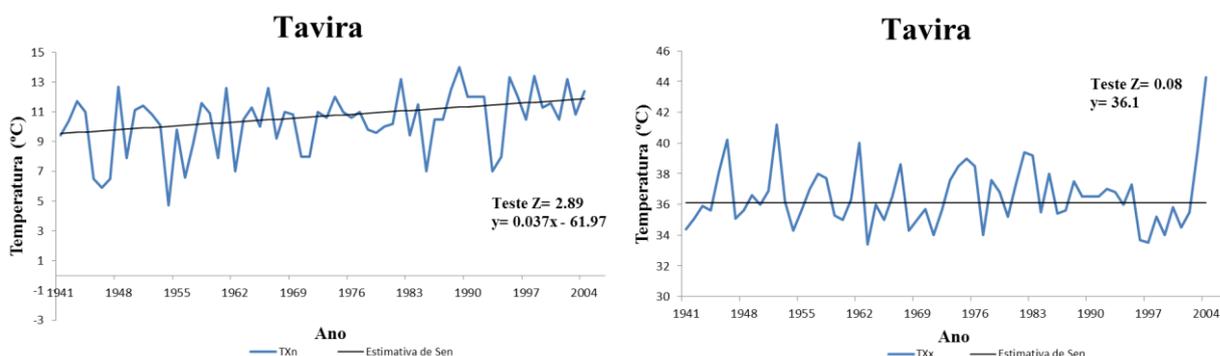


Figura 4.17 Tendência anual das séries de TXn (à esquerda) e TXx (à direita), para Tavira (1941-2004). O teste Z é a tendência monótona de aumento ou diminuição de TXn e TXx, e y representa a equação da linha de tendência.

Para Beja constata-se que apesar de não ser significativa a tendência, existe aumento tanto em TXn como em TXx. Em Bragança, para os 2 índices ocorre aumento da temperatura do ar em que para TXx é significativo ao nível de 10%. Nas estações do Porto e Tavira é claro o aumento em TXn com a presença de tendência estatisticamente significativa enquanto para TXx é ausente de tendência ao nível e 10%.

Em Santo et al. (2014) os autores concluíram entre 1941-2006, para as 23 estações climatológicas, para as 4 estações do ano, ocorre acréscimo no índice TXn, sendo mais evidente no Verão e no Inverno, tal como acontece nos resultados da presente dissertação. Em relação a TXx, Santo et al. (2014) conclui que também em todas as estações do ano existe aumento na temperatura do ar, e mais significativo no Inverno e Primavera, o que sucede igualmente nos resultados de tendência desta dissertação. Deste modo, os resultados mostram clara evidência de aumento da temperatura do ar em Portugal Continental, com maior significância na temperatura do ar mínima.

### 4.3 Medidas Mitigadoras e de Adaptação

No presente subcapítulo apresentam-se setores onde é possível mitigar as emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera, juntamente com algumas medidas de adaptação ao atual clima. Pretende-se identificar as principais medidas de mitigação e de adaptação em Portugal, tendo em conta as condições meteorológicas e hidrológicas. Algumas das medidas estão atualmente implementadas em Portugal, outras, devido às condições existentes, propõem-se como sendo medidas importantes a adotar.

O setor dos transportes representa um importante contributo nas emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, tornando-se essencial o incentivo à utilização de transportes públicos e ao desenvolvimento de transportes com emissões reduzidas, podendo integrar os planos de ação por parte das entidades competentes. Para que a utilização dos transportes seja vista como uma opção viável, é importante que as entidades garantam a qualidade, o conforto e a periodicidade de acordo com as necessidades dos utilizadores, a um preço competitivo. A utilização de veículos híbridos constitui uma boa alternativa na substituição de veículos que funcionam a derivados de combustíveis fósseis, emitindo menores quantidades de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

O desenvolvimento tecnológico dos carros elétricos, nos últimos anos, constitui um passo importante na redução de GEE. O facto de não serem utilizados combustíveis fósseis no funcionamento dos veículos (de forma direta), resulta numa diminuição na emissão dos GEE. Sabe-se que a autonomia destes veículos ainda não atingiu os valores desejáveis, o que torna a criação de postos específicos de carregamento e o investimento na melhoria tecnológica dos veículos em medidas essenciais ao seu desenvolvimento. Se, a título de exemplo, a energia elétrica utilizada nos postos anteriormente referidos tiver origem solar, então, os impactos resultantes da utilização dos veículos, ainda será menor.

Por fim, e ainda no setor dos transportes, foram criadas na cidade de Lisboa as chamadas Zonas de Emissões Reduzidas (ZER), onde se pretende fixar objetivos e parâmetros para a qualidade do ar de forma a reduzir, prevenir e evitar efeitos negativos para a saúde pública e para o ambiente. Este plano restringe a circulação a certos veículos para alguns eixos de Lisboa (veículos construídos antes de Julho de 1992, antes de 1996 ou antes de 2000, conforme o eixo em questão). Com o objetivo de continuar a reduzir as emissões no setor do transporte, em Lisboa, o alargamento de restrições na circulação de veículos em outros eixos muito movimentados no centro da cidade, seria uma boa alternativa de mitigação de GEE.

Um dos setores mais importantes que contribui para a mitigação de GEE são as energias renováveis. A substituição de energia proveniente da queima de combustíveis fósseis por energia renovável, tem vindo a tornar-se cada vez mais uma opção em Portugal e na maioria dos países desenvolvidos. As energias renováveis são mais benéficas para o ambiente (emitem menos GEE para a atmosfera), porém, os custos de investimento ainda estão a um patamar muito elevado.

Em Portugal, a produção de eletricidade proveniente de energias renováveis, em 2014 representou 62.7% do total de energia elétrica consumida. São exemplos os indicados a seguir, reproduzidos em APREN@, 2015:

- **Energia hídrica (29.4%):** Energia proveniente de movimentos de água para produzir energia elétrica em centrais hidroelétricas, que pode ter armazenamento em albufeira ou serem a fio de água (não possuem albufeira e aproveitam o fluxo natural do rio). As centrais hídricas são muito eficientes na geração de eletricidade, contribuem para a estabilidade do sistema elétrico e, atualmente em Portugal, corresponde a quase 30% da eletricidade consumida;
- **Energia eólica (23.7%):** Aproveitamento da energia cinética do vento para produzir energia mecânica, que posteriormente é transformada em energia elétrica. A substituição de energia proveniente de combustíveis fósseis por energia proveniente do vento é uma opção muito utilizada e rentável em Portugal, sendo o único inconveniente, os elevados custos de investimento. As centrais eólicas em Portugal estão instaladas em zonas montanhosas e junto à costa, e representam cerca de  $\frac{1}{4}$  da eletricidade consumida;
- **Biomassa (5.4%):** Energia proveniente de matéria orgânica de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizada no estado sólido, líquido ou gasoso. Quando queimada, a biomassa torna-se uma fonte de energia que pode ser utilizada em centrais térmicas para produzir eletricidade, sendo importante na produção de calor. A energia proveniente da biomassa está em crescimento e, em Portugal, com a enorme área florestal, é possível diminuir o risco de incêndio através do uso de resíduos florestais, quando conjugado com limpeza e ordenamento do território florestal;
- **Energia geotérmica (3%):** Energia renovável proveniente do calor interior da Terra. Através de centrais térmicas é possível gerar eletricidade proveniente do vapor de água produzido pelo interior da Terra. Além da produção de eletricidade, esta fonte pode ser usada como fonte de calor para estufas e para bombas de calor (para aquecimento e arrefecimento de edifícios). Em Portugal existem algumas unidades de produção de eletricidade por geotermia, porém ainda é muito pouco utilizada e sendo uma energia renovável, seria uma opção viável de contínuo investimento;

- **Energia solar (1.2%):** Aproveitamento das radiações do sol para produção de energia elétrica (energia fotovoltaica) ou para aquecimento de água (energia solar térmica). Portugal apresenta características que possibilitam o uso desta tecnologia diariamente, tornando-se uma hipótese de substituição ao uso de energias não renováveis bastante viável, para produção e consumo de eletricidade. Para isso, é necessário o desenvolvimento tecnológico para melhorar a eficiência energética;
- **Ondas e marés:** Sendo Portugal um país com uma extensa área rodeada por oceano, tem muita energia disponível por parte do mar, tornando o aproveitamento de energia das ondas e marés é uma boa opção de produção e consumo de energia elétrica. Os equipamentos que permitem a conversão desta energia renovável em energia elétrica ainda se encontram em desenvolvimento e investigação, de forma a melhorar o rendimento, a eficiência e a resistência ao ambiente marítimo. Nos Açores foi implementada a primeira central do Mundo a produzir este tipo de energia, e em Portugal, apesar de já ter sido testado esta tecnologia, ainda se encontra em preparação;
- **Biogás:** É uma energia renovável e a produção deste biocombustível é realizada, principalmente, em sistemas controlados de aterros sanitários, através da utilização e valorização de resíduos, sendo uma boa alternativa ambiental à utilização de energia proveniente de combustíveis fósseis. A grande desvantagem da produção de biogás, é o elevado custo de instalação e de operação.

Portugal apresenta ótimas condições meteorológicas para as várias fontes de produção de energia renovável mencionadas, tornando-se importante um caminho para a independência, na totalidade, de combustíveis provenientes da queima de combustíveis fósseis.

Para um caminho sustentável sem utilização de combustíveis fósseis, o investimento em tecnologias mais evoluídas com emissões de GEE reduzidas é uma medida essencial, como por exemplo a descarbonização. Para todos os setores que estão englobados na indústria e nos edifícios, é necessário, além do investimento em tecnologias independentes de energias não renováveis, uma contínua investigação em tecnologias de produção de eletricidade renovável, de melhor eficiência energética e de menores emissões.

Assim, as medidas mencionadas anteriormente permitem o cumprimento de políticas estabelecidas por Portugal para a redução de emissões de gases com efeito de estufa (PNAC, PNALE II, RNBC, etc.), assim como atingir metas e regulamentos estabelecidos, a nível Internacional, para a redução global das emissões de GEE para a atmosfera.

Em zonas rurais, outros dois setores importantes que permitem reduzir as emissões de GEE para a atmosfera são na agricultura e nas florestas. Portugal é constituído por uma extensa área florestal ao qual está associada uma vulnerabilidade a incêndios florestais. É importante efetuar atividades de corte de vegetação indesejada (prejudicial no combate a incêndios), mas sem comprometer a florestação, sendo que são uma fonte importante de absorção de CO<sub>2</sub>. Quanto à agricultura, perante o cenário de diminuição de precipitação e aumento da temperatura do ar registada nos últimos anos e identificada também na análise desta dissertação, a substituição da plantação por culturas mais resistentes a um clima quente e seco e com maior capacidade de adaptação a variações climáticas pode ser um fator preponderante às alterações climáticas.

Em Portugal, têm vindo a ser várias as medidas implementadas em zonas costeiras com o objetivo de reduzir a vulnerabilidade e a probabilidade de ocorrência de destruição de infraestruturas com a subida do nível do mar e com temporais que agitam as águas e provocam prejuízos em zonas costeiras. Assim, torna-se necessário o enchimento do areal com areia, pois tem existido um recuo na linha do mar devido à perda de areia e subida do nível médio do mar, de modo a reduzir a hipótese de inundação das infraestruturas em zonas costeiras.

A criação de espaços verdes também tem sido uma forma de adaptação à subida de temperatura. Para além de fornecer sombras quando as temperaturas são elevadas e conseguirem criar espaços com temperaturas mais frescas, a vegetação permite que seja absorvida maior quantidade de CO<sub>2</sub>. As zonas urbanas investem cada vez mais na criação de espaços verdes, conjugando-os com infraestruturas de adaptação a cheias.

Perante o atual clima, no que a medidas de adaptação diz respeito e tendo em conta as condições climáticas do país, Portugal tem condições climáticas que necessitam da aplicação de medidas, com o propósito de atenuar ou prevenir os efeitos negativos da precipitação e da temperatura do ar (aumento de eventos extremos meteorológicos), perante impactos causados pelas alterações climáticas (essencialmente cheias e secas). Assim, considera-se medidas imprescindíveis a aplicar em Portugal:

- Reservatórios subterrâneos para águas pluviais, pois muitas cidades não foram construídas com boas infraestruturas de escoamento e para evitar inundações, esta é uma boa opção para as zonas urbanas;
- Retenção selada de lagos com sistemas dinâmicos de movimentação de água. São sistemas de armazenamento de águas pluviais, aplicados em cidades, e com a

recirculação de água de modo a não afetar a saúde pública e melhorando o design do espaço público;

- Paredes de contra inundação,   uma medida que pode ser implementada, de modo permanente, em regiões perto de rios que costumam com frequência alagar em períodos de precipita o intensa e trazer prejuízos para a popula o. Normalmente são utilizadas em zonas com pouco espaço útil;
- Disjuntores de ondas   uma medida aplicada ao longo da zona costeira portuguesa. São pedras gigantes que têm a fun o de bloquear ondas grandes assim como correntes. Normalmente são colocados ao longo de pared es e esporões, que também têm fun o de acalmar as correntes marítimas e reter sedimentos ao longo da costa;
- Diques/açudes continuam a ser uma boa medida de adapta o em zonas perto de rios ou de zonas costeiras. São declives naturais ou artificiais que impedem a passagem de água para zonas onde pode causar danos. Assim,   uma parte integrante de uma boa gestão integrada de ordenamento de território;
- Sistemas urbanos de drenagem sustentável   uma medida já utilizada em várias zonas de Portugal, que têm como objetivo de, através do uso rentável de sistemas naturais e de baixo impacte ambiental, drenar água em escoamentos superficiais nas cidades. Dependendo do local, esta op o   muito viável.
- Bacias de reten o, capta o e filtra o   uma medida usada em várias cidades em Portugal, e “water squares” também pode ser implementado, incorporando esta medida em zonas urbanas e com um design apropriado.

  muito tempo que Portugal começou a investir em barragens (com e sem aproveitamento hidroelétrico). Estas infraestruturas da engenharia têm inúmeras vantagens mas também têm as suas desvantagens. As barragens têm o grande objetivo de controlar caudais e de abastecer a popula o. Permitem evitar inunda es nas épocas de maiores precipita es e ajudar em situa es de incêndios, constituindo reservatórios de água essenciais às necessidades de abastecimento em algumas zonas do país. Perante isto, os enormes caudais armazenados nas albufeiras permitem um arrefecimento do ar, o que torna um fator positivo nas épocas de altas temperaturas do ar.

Por fim, para as cidades com grandes aglomerados populacionais em Portugal, sugere-se a aplica o de telhados verdes. Esta técnica consiste na planta o de vegeta o em telhados e zonas altas de infraestruturas, que permitem a interce o da água da chuva levando a uma menor probabilidade de cheias.

## 5 CONCLUSÕES

Na presente dissertação avaliam-se tendências de precipitação e temperatura do ar, em complemento de uma identificação de medidas mitigadoras e de adaptação, procurando entender de que forma as alterações climáticas têm afetado Portugal Continental. Perante o cenário analisado, é possível concluir alguns aspetos, enunciando de seguida os mais relevantes.

Pela análise dos resultados obtidos na avaliação de tendências, torna-se evidente uma necessidade acrescida de preocupação com a variabilidade meteorológica e hidrológica em Portugal Continental. Além de se verificar uma diminuição da precipitação total anual entre 1941 e 2004 em Portugal Continental, verificou-se a ocorrência de aumento de chuvadas mais intensas e diminuição de períodos diários secos assim como de períodos com precipitação diária consecutiva, concluindo-se como possível manifestação das alterações climáticas.

Em relação à temperatura do ar, foi confirmado o aumento das temperaturas do ar mínimas e máximas em Portugal Continental, entre 1941 e 2004, podendo ser consequência da contínua emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera.

Este estudo conclui que, apesar de Portugal estar a implementar uma grande quantidade de medidas que têm vindo a surtir efeito na redução de gases com efeito de estufa para a atmosfera (principalmente pela atual produção e consumo de energia proveniente de recursos renováveis), há que continuar esse esforço de modo a caminhar para uma total independência de utilização de energia proveniente de combustíveis fósseis. Quanto à adaptação, é concluído que estão em prática medidas que reduzem a vulnerabilidade da população e de infraestruturas, porém, e conforme as necessidades, há que continuar a investir de modo a adaptar às condições do clima, consequência de atividades antropogénicas anteriores, evitando assim possíveis danos em Portugal.

De forma a completar o estudo realizado nesta dissertação, e para ampliar o conhecimento do tema que engloba as alterações climáticas, seria importante realizar futuros trabalhos de investigação que englobem energias limpas (com ausência de emissões associadas) e tecnologias mais eficientes.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA@ (2015). <http://www.apambiente.pt/index.php>. Agência Portuguesa do Ambiente, (acedido em Maio de 2015).
- APREN@ (2015). <http://www.apren.pt/pt/>. Associação Portuguesa de Energias Renováveis, (acedido em Setembro de 2015).
- Boden, T. A., Marland, G., Andres, R. J., Bren (2015). “Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions”. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001\_V2015.
- Boer, F., Jorritsma, J., Peijpe, D. (2010). “De Urbanisten and the wondrous water square”. Rotterdam: 010 Publishers.
- de Lima, M. I. P., Marques, Ana C., de Lima, J. L. M. P. (2005). "Análise de tendência da precipitação anual e mensal no período 1900-2000, em Portugal Continental". RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Territorium, n. 12, p. 11-18.
- de Lima, M. I. P., Santo, F. E., Cunha, S., Silva, Á. (2013). “Tendências nos extremos de precipitação em Portugal Continental em 1941-2012”. Riscos Naturais Antrópicos e Mistos - Homenagem ao Professor Doutor Fernando Rebelo, Departamento de Geografia, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, p. 325-337.
- de Lima, M. I. P., Santo, F. E., Ramos, A. M., Trigo, R. M. (2014). “Trends and correlations in anual extreme precipitation indices for mainland Portugal, 1941-2007”. Theoretical and Applied Climatology, Springer-Verlag, Wien, 119 (1-2), p. 55-75.
- EEA (2012). “Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012”, an indicator-based report. European Environment Agency Report, No 12/2012.
- EPA@ (2015). <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html#one>. Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América, (acedido em Maio de 2015).
- ETCCDI@ (2015). <http://etccdi.pacificclimate.org/data.shtml>. Expert Team on Climate Change Detection and Indices, (acedido em Maio de 2015).
- Gilbert, R.O. (1987). “Statistical methods for environmental pollution monitoring”. Van Nostrand Reinhold , New York.
- Henriques, A. G. (2009). “Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas”. Instituto Superior Técnico, Mestrado em Engenharia do Ambiente, Lisboa.
- IPCC (2001a). “Climate Change 2001: The Scientific Basis”. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Houghton, J.T. et al., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- IPCC (2001b). “Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability”. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. McCarthy, J. J. et al., Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2007). “Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change”. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B. et al., Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2013). “Climate Change 2013: The Physical Science Basis”. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T. F. et al., Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2014a). “Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability”. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers. Field, C. B. et al., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1-32.
- IPCC (2014b). “Climate Change 2014: Synthesis Report”. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Karl, T. R., Knight, R. W., Easterling, D. R., Quayle, R. G. (1996). “Indices of climate change for the United States”. American Meteorological Society Bulletin, Boston, v. 77, n. 2, p. 279-292.
- Kendall, M. G. (1975). “Rank Correlation Methods”. 4th ed., Charles Griffin, London.
- LPN (2014). “Alterações Climáticas: Preparar Portugal”. Liga para a Protecção da Natureza (descarregado de [www.lpn.pt](http://www.lpn.pt), em Setembro de 2015).
- Mann, H. B. (1945). “Non-parametric test against trend”. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, n.13, p. 245-259.
- Miranda, P., Coelho, F. E. S., Tomé, A. R., Valente, M. A. (2002). "20th Century Portuguese Climate and Climate Scenarios". *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project* (Santos F.D., Forbes K., Moita R., eds). Lisbon: Gradiva Publishers: p. 23-83.
- Projeto SIAM II (2006). “Alterações Climáticas em Portugal - Cenários, impactos e medidas de adaptação”. Santos, F. D., Miranda, P., Gradiva, Lisboa.
- RNBC (2012). “Opções de transição para uma economia competitiva e de baixo carbono em 2050”. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente, e do Ordenamento do Território, Lisboa (descarregado de <http://www.apambiente.pt/index.php>, em Setembro de 2015).

- 
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. (2002a). “MAKESENS 1.0 Mann-Kendall Test and Sen’s Slope Estimates for the Trend of Annual Data”. Copyright Finnish Meteorological Institute, Helsínquia, Finlândia.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. (2002b). “Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates - The Excel template application Makesens”. Air Quality No. 31 Report code FMI-AQ-31, Helsínquia, Finlândia.
- Santo, F. E., de Lima, M. I. P., Ramos, A. M., Trigo, R. M. (2014). “Trends in seasonal surface air temperature in mainland Portugal, since 1941”. *International Journal of Climatology*, 34: p. 1814-1837.
- Santos, F. D. (2006) – “Riscos e desafios das alterações climáticas no início do século XXI”. VIII Curso de Verão da Ericeira (Viver a Natureza. Pensar o Desenvolvimento).
- Santos, J. F., Portela, M. M. (2007). “Tendências em séries de precipitação mensal em Portugal continental. Aplicação do teste de Mann-Kendall”. 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 8º SILUSBA.
- Sen, P. K. (1968). “Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau”. *Journal of the American Statistical Association*, n. 63.324, p. 1379-1389.
- SIAM (2001). “Mudança Climática em Portugal - Cenários, Impactes e Medidas de Adaptação”. Santos, F. D., Forbes, K., Moita, R., Sumário Executivo e Conclusões, Gradiva, Lisboa.
- Silva, M. M., Costa, J. P. (2011). “Urban flood adaptation through public space design. A contribute to a conceptual framework”. *Urbanised Estuaries and Deltas*, funded by the Portuguese Foundation for Science and Technology and the European Social Found, 3rd Community Support Framework. EFLA Regional Congress 2011.
- Silva, M. M. (2012). “New approaches on water management infrastructure”. In: *Soil Bioengineering and Land Management-New Challenges: Sustaining Our Land, Water and Life in Changing Climate*, Cascais World Forum Congress, Associação Portuguesa de Engenharia Natural (APENA), Asociación Española de Ingeniería del Paisaje (AEIP), European Federation for Soil Bioengineering (EFIB).