



MUDANÇA CLIMÁTICA EM PORTUGAL CENÁRIOS, IMPACTES E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO SIAM

SUMÁRIO EXECUTIVO E CONCLUSÕES

Editado por
Filipe Duarte Santos
Keith Forbes
Ricardo Moita

Financiado por

gradiva



FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN

FCT

Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA



MUDANÇA CLIMÁTICA EM PORTUGAL CENÁRIOS, IMPACTES E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO SIAM

SUMÁRIO EXECUTIVO E CONCLUSÕES

Editado por
Filipe Duarte Santos
Keith Forbes
Ricardo Moita



Financiado por

gradiva



FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN

FCT

Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA

ÍNDICE

Acerca do Projecto SIAM	5
Acerca deste Relatório	5
O que é a Mudança Climática?	5
Quais as causas das Mudanças Climáticas?	6
O que é um Cenário?	7
Quais as Incertezas?	7
O Clima Recente de Portugal Continental	8
O Clima Futuro de Portugal Continental	8
Recursos Hídricos	10
Zonas Costeiras	12
Agricultura	14
Saúde Humana	16
Energia	18
Floresta e Biodiversidade	20
Pescas	23

FICHA TÉCNICA

Reservados todos os direitos dos autores

Proibida a reprodução total ou parcial do conteúdo desta obra sem autorização dos editores

Poderão ser obtidas cópias escrevendo para:

Ângela Antunes, SIAM
Observatório Astronómico de Lisboa
Edifício Leste, 1.º piso
Tapada da Ajuda
1349-018 Lisboa
Portugal
Telefone: + 351 213616748
Fax: + 351 213616752
Email: aantunes@siam.fc.ul.pt

A citação deste Sumário deverá ser a seguinte:

F. D. Santos, K. Forbes, R. Moita (editores), *Mudança Climática em Portugal. Cenários, Impactes e Medidas de Adaptação – SIAM. Sumário Executivo e Conclusões*, Gradiva, Lisboa, 2001

Imagem da capa © Tiago Silva
Montado ao anoitecer, Moura

Publicado em 2001

Esta publicação é financiada pela Fundação Calouste Gulbenkian

Design gráfico: Armando Lopes

Execução gráfica e impressão: Multitipo – Artes Gráficas, L.^{da}

Depósito legal: 171 204/01



MUDANÇA CLIMÁTICA EM PORTUGAL

CENÁRIOS, IMPACTES E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

SIAM

Autores

- Filipe Duarte Santos (Coordenador do Projecto)
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – FCUL
- Keith Forbes (Gestor do Projecto)
SIAM
- Ricardo Moita (Coordenador, Integração)
SIAM
- **Clima e Cenários Climáticos**
Pedro Miranda (Coordenador)
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – FCUL
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa
Anabela Carvalho
SIAM
Fátima Espírito Santo Coelho
Instituto de Meteorologia – IM
Carlos Pires
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa
Carlos Ramalho
SIAM
António Rodrigues Tomé
Universidade da Beira Interior
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa
Maria Antónia Valente
SIAM
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa
- **Cenários Sócio-Económicos**
Pedro Barata (Coordenador)
Euronatura
- **Análise Sociológica da Problemática da Mudança Climática**
João Ferreira de Almeida (Coordenador)
Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa – ISCTE
Filipa Lourenço
SIAM
Paula Marisa Pott
SIAM
- **Recursos Hídricos**
Luís Veiga da Cunha (Coordenador)
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa – FCTUNL
Vasco Nunes
SIAM
Rodrigo Oliveira
CHIRON, Sistemas de Informação, Lda
- **Zonas Costeiras**
Hipólito Monteiro (Coordenador)
Instituto Geológico e Mineiro – IGM
Carlos Cachado
SIAM
Ana Cristina Cardoso
SIAM
- **Agricultura**
Pedro Aguiar Pinto (Coordenador)
Instituto Superior de Agronomia – ISA
Ana Paiva Brandão
SIAM
- **Saúde Humana**
José Manuel Calheiros (Coordenador)
Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar – ICBAS
- Elsa Casimiro
SIAM
- **Energia**
Ricardo Aguiar (Coordenador)
Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial – INETI
Hélder Gonçalves
Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial – INETI
Marta Oliveira
Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial – INETI
Maria João Reis
SIAM
- **Florestas and Biodiversidade**
João Santos Pereira (Coordenador)
Instituto Superior de Agronomia – ISA
Manuela Branco
Instituto Superior de Agronomia
Miguel Bugalho
Centro de Ecologia Aplicada Baeta Neves
Maria Conceição Caldeira
Instituto Superior de Agronomia
Alexandra Pires Correia
SIAM
Alexandre Vaz Correia
SIAM
Carlos Souto Cruz
Câmara Municipal de Lisboa
Helena de Freitas
Universidade de Coimbra
Ângelo Carvalho Oliveira
Instituto Superior de Agronomia
José M. Cardoso Pereira
Instituto de Investigação Científica Tropical
Raul Mata Reis
Instituto de Meteorologia
Maria José Vasconcelos
Instituto de Investigação Científica Tropical
- **Pescas**
Carlos Sousa Reis (Coordenador)
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – FCUL
Maria Dornelas
SIAM
Ricardo Lemos
SIAM
Romana Santos
SIAM
- **Outros autores que contribuíram para a realização deste trabalho**
Suraje Dessai
SIAM
Henrique Oliveira Pires
Instituto de Meteorologia – IM
Júlia Seixas
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa – FCTUNL

Agradecimentos

Estamos gratos à Fundação Calouste Gulbenkian (FCG) e à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) pelo financiamento concedido ao Projecto SIAM; a FCG no período de Junho de 1999 a Junho de 2001 e a FCT no período de Janeiro de 2000 até Janeiro de 2002 (PRAXIS/C/MGS/11048/98). Agradecemos ao Instituto da Água o financiamento parcial do trabalho realizado pela equipa de Recursos Hídricos. O Projecto SIAM deseja agradecer à Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa a gestão dos fundos que lhe foram atribuídos. Agradecemos também o apoio concedido ao Projecto pelas seguintes Instituições:

Centro de Estudos de Vectores e Doenças Infecciosas
CHIRON, Sistemas de Informação, Lda
Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia
Direcção Deral de Energia
Direcção Geral de Saúde
Direcção Regional do Ambiente de Lisboa e Vale do Tejo
EURONATURA, Centro para o Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentado
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
Instituto da Água
Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar
Instituto de Gestão Informática e Financeira da Saúde
Instituto de Higiene e Medicina Tropical
Instituto de Meteorologia
Instituto Geológico e Mineiro
Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial
Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge
Instituto Superior de Agronomia
Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa
Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Data Distribution Centre
Max-Planck Institut für Biogeochemie – Jena, Germany
OBSERVA – Ambiente, Sociedade e Opinião Pública
The Hadley Centre for Climate Prediction and Research, UK
Universidade Complutense de Madrid
World Health Organization's Regional Office for Europe

Agradecemos ao Instituto de Meteorologia o acesso à maior parte dos dados climatológicos utilizados neste estudo. Estamos

também agradecidos ao Hadley Centre for Climate Prediction and Research por nos ter fornecido, através do Projecto LINK, dados mensais de simulações obtidas com vários GCMs (Modelos de Circulação Geral) e dados diários de simulações obtidas com o HadRM. Agradecemos especialmente o apoio de David Viner do Climate Impacts LINK Project (DETR Contract EPG/1/1/68) associado ao Hadley Centre e ao U. K. Meteorological Office e o apoio de Alan Thorpe do Hadley Centre. Dados de outros GCMs foram obtidos através do IPCC Data Distribution Centre. Agradecemos também especialmente a Manuel Castro, da Universidade Complutense de Madrid e a Clemente Gallardo da Universidade de Castilha-la-Mancha os dados do cenário climático futuro obtido com o modelo PROMES. Estamos agradecidos a Jed Kaplan do Max-Planck Institut für Biogeochemie, Jena, Alemanha. Desejamos também agradecer a Pedro Ochôa do Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia, Paula Marques, Luís Mira da Silva e Miguel Tristany da Secção de Agricultura do Instituto Superior de Agronomia e a Ricardo Braga da Escola Agrária de Elvas. Estamos também gratos pelo apoio recebido de Rui Brás e de Ferreira Coelho do Instituto Hidrográfico, de António Brandão Moniz da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, de Ana Cristina Ferreira do Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, de Sofia Moita e Álvaro Silva do Instituto de Meteorologia, de Pedro Brito e Luís Rebelo do Instituto Geológico e Mineiro, de Maria João Carvalho, António Joyce, João Farinha Mendes e Ana Estanqueiro do Departamento de Energias Renováveis do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, de Isabel Cabrita do Departamento de Engenharia Energética e Controlo Ambiental do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial e de Paula Candeias da Biblioteca do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial.

Estamos muito agradecidos a Nuno Lacasta, que foi um dos iniciadores do Projecto SIAM e está actualmente fora de Portugal, pelo seu apoio e entusiasmo. Desejamos também agradecer a João Corte-Real e a Alexandra Oliveira que foram membros da equipa do Projecto nas suas fases iniciais. Finalmente desejamos agradecer o apoio e profissionalismo da Secretária do Projecto SIAM, Ângela Antunes.

Os autores assumem a plena responsabilidade por todo e qualquer erro ou imprecisão no texto.

Acerca do Projecto SIAM

A mudança climática global constitui uma ameaça sem precedente sobre a humanidade e sobre a natureza. O clima está a mudar devido às emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera e às profundas alterações no uso dos solos, ambas provocadas pelas actividades humanas. Face a esta problemática, existem fundamentalmente dois tipos de respostas que se complementam: adaptação e mitigação.

A adaptação é um processo de resposta que procura diminuir os aspectos negativos dos impactos das alterações climáticas nos vários sectores sócio-económicos e sistemas biofísicos. Para iniciar os processos de adaptação é necessário primeiro identificar os impactos das alterações climáticas. A mitigação é um processo que procura reduzir ou eliminar as próprias causas da mudança climática. A Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança Climática e o Protocolo de Quioto constituem dois processos internacionais muito importantes no domínio da mitigação.

O objectivo do Projecto SIAM é estudar e relatar aquilo que presentemente se sabe sobre as consequências potenciais da mudança climática em Portugal durante o século XXI. O Projecto SIAM iniciou-se em Junho de 1999 com o objectivo de realizar a primeira avaliação integrada da vulnerabilidade e da adaptabilidade à mudança climática em Portugal. O trabalho realizado está focado num conjunto nuclear de impactos sócio-económicos e biofísicos e baseia-se em cenários climáticos produzidos por modelos climáticos. O Projecto SIAM está funcionalmente dividido em dez grupos. Destes, sete trabalharam nos impactos e adaptação em sectores específicos, designadamente, Recursos Hídricos, Zonas Costeiras, Agricultura, Saúde Humana, Energia, Florestas e Biodiversidade e Pescas. Os restantes grupos trabalharam em Clima, Cenários Sócio-Económicos e Análise Sociológica da Problemática da Mudança Climática em Portugal.

Acerca deste Relatório

Este relatório constitui um sumário sucinto da versão completa do relatório do Projecto SIAM que incluirá o resultado dos trabalhos realizados pelos referidos dez grupos do Projecto e que será publicada em 2002. A equipa do Projecto SIAM considerou que seria útil e oportuno tornar acessível ao público, em geral, e aos decisores políticos, o mais rapidamente possível, as principais conclusões e recomendações do trabalho realizado nos últimos dois anos. Este sumário está pois focado nas conclusões mais importantes relativas aos impactos da mudança climática em vários sectores sócio-económicos e sistemas biofísicos, nas principais recomendações relativas às medidas de adaptação e no enunciado de temas prioritários que requerem investigação futura. Os leitores deste relatório são convidados e encorajados a consultar a versão completa do relatório do Projecto SIAM, acima referida, especialmente no que diz respeito à descrição das metodologias adoptadas e fundamentação científica detalhada das conclusões apresentadas, assim como à consulta das referências bibliográficas utilizadas.

Nesta primeira avaliação integrada dos impactos da mudança climática em Portugal não foi possível abordar todos os sectores sócio-económicos e sistemas biofísicos sobre os quais se esperam impactos. Futuras avaliações deverão considerar sectores importantes, aqui omissos, tais como, Seguros, Turismo, Solos e Áreas Urbanas. Também não foi possível, por falta de disponibilidade de tempo, estender esta avaliação às Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira.

Salienta-se ainda que esta primeira avaliação não inclui as contribuições dos diversos agentes envolvidos na problemática da mudança climática, nomeadamente, os decisores públicos e privados. Por outro lado, não foi também possível avaliar a eficiência, a executabilidade e os custos de potenciais medidas de adaptação. Estas e outras questões serão abordadas e consideradas na segunda fase do Projecto SIAM, financiada pela Direcção-Geral do Ambiente, do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.

O que é a Mudança Climática?

O tempo, numa determinada localização espaço-temporal, é o estado da atmosfera nessas coordenadas e para o descrever é necessário conhecer os valores das variáveis meteorológicas, designadamente, temperatura, precipitação, vento, pressão, humidade e nebulosidade. O conjunto dos estados da atmosfera num determinado local define o clima desse local.

Numa linguagem sugestiva, embora pouco precisa, o clima é o "tempo médio". Mais rigorosamente, o clima constitui a descrição estatística, em termos da média e da variabilidade, das variáveis meteorológicas durante períodos de

tempo que vão desde meses a milhares e milhões de anos. O intervalo mínimo de tempo necessário para poder definir o clima de um determinado local, adoptado pela Organização Meteorológica Mundial, é de 30 anos.

A mudança climática corresponde a uma variação estatística significativa das médias que caracterizam o clima e/ou das suas variabilidades durante um período suficientemente grande, da ordem de décadas. Estudos paleoclimáticos revelam que o clima tem variado durante toda a história da Terra com início há aproximadamente 4,500 milhões de

anos. A mudança climática pode resultar de processos naturais internos ao sistema climático, de forçamentos naturais externos e também de alterações antropogénicas na composição da atmosfera ou no uso dos solos. A Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas define "mudança climática" (climate change) como aquela que resulta directa ou indirectamente das actividades humanas e define "variabilidade climática" (climate variability) como a mudança climática atribuível a causas naturais. O IPCC utiliza uma definição diferente: "a mudança

climática resulta de uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou na sua variabilidade que persiste durante um intervalo de tempo extenso (tipicamente da ordem de décadas ou superior)", sem identificação das causas da mudança.

As actividades sócio-económicas e o ambiente são profundamente sensíveis ao clima. A história revela claramente a influência que as mudanças climáticas tiveram na humanidade e no meio ambiente.

Quais as Causas das Mudanças Climáticas?

Foi já referido que a mudança climática pode ter causas naturais e antropogénicas. Os mais importantes forçamentos naturais externos que provocam mudanças climáticas, através de alterações no equilíbrio energético da atmosfera, são as variações na luminosidade do Sol e as variações nos parâmetros que definem a órbita da Terra em torno do Sol. As variações na órbita da Terra ocorrem lentamente, ao longo de períodos de tempo da ordem de 20,000 a 400,000 anos, e supõe-se serem responsáveis pela alternância dos períodos glaciares e interglaciares.

A mudança climática antropogénica resulta principalmente de alterações na composição da atmosfera, especialmente no que respeita aos gases com efeito de estufa (GEE). Os mais importantes GEE na atmosfera incluem o vapor de água (H_2O) (o mais importante em termos de equilíbrio radiativo na atmosfera), dióxido de carbono (CO_2) (o GEE cuja concentração atmosférica está a aumentar devido às actividades humanas, mais importante em termos de equilíbrio radiativo na atmosfera), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), clorofluorcarbonetos (CFCs), perfluorcarbonetos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF_6) e ozono (O_3). Os GEE são gases que absorvem e emitem radiação infravermelha. Para que a temperatura média global na baixa atmosfera (troposfera) seja relativamente estável no tempo, é necessário que haja um equilíbrio entre a radiação solar incidente absorvida e a radiação solar emergente, irradiada sob a forma de radiação infravermelha. Este equilíbrio radiativo depende de forma crucial da concentração atmosférica dos GEE bem como da nebulosidade e do albedo. Quando a concentração dos GEE aumenta, uma maior parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra e pela baixa atmosfera é absorvida pelos GEE, aprisionando assim uma maior quantidade de energia que causa um aumento da temperatura da baixa troposfera. O efeito de "cobertor", que resulta da presença de GEE na atmosfera da Terra, a que poderemos chamar "efeito de estufa natural", aumenta a temperatura média da atmosfera à superfície da Terra em cerca de $32^\circ C$, desde $-18^\circ C$ até $14^\circ C$.

A concentração atmosférica do CO_2 aumentou 31% desde 1750 até ao valor actual de 365 ppmv (partes por milhão em volume) e vários estudos independentes confirmam que esse aumento é devido à combustão de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e às alterações no uso

dos solos, especialmente a desflorestação. Dados paleoclimatológicos permitem concluir que o valor actual da concentração de CO_2 não foi excedido nos últimos 420,000 anos e provavelmente não foi excedido nos últimos 20 milhões de anos.

Presentemente a combustão de combustíveis fósseis está a adicionar mais de 6 GtC/ano (10^{12} kg de carbono sob a forma de CO_2) à atmosfera. Cerca de 75% das emissões antropogénicas de CO_2 para a atmosfera, durante os últimos 20 anos, resultaram da combustão de combustíveis fósseis e o restante foi devido principalmente a alterações no uso dos solos. O aumento da concentração de CO_2 desde 1750 a 2000 é responsável por cerca de 60% do forçamento radiativo que todas as emissões antropogénicas de GEE causaram durante o mesmo período de tempo. Por outras palavras, o aumento das emissões de CO_2 desde o início da revolução industrial é a causa principal (mas não a única) do efeito de estufa antropogénico. As actividades humanas também produzem aerossóis (principalmente através da queima de combustíveis fósseis e biomassa) que têm uma permanência na atmosfera relativamente pequena e, na maioria dos casos, tendem a reduzir os efeitos do aquecimento global produzido pelos GEE de origem antropogénica.

Com base no entendimento científico do efeito de estufa é possível afirmar que o aumento da concentração dos GEE na atmosfera deverá provocar uma mudança climática e especialmente um aumento global da temperatura. Para obter projecções do clima futuro, coerentes do ponto de vista físico, constroem-se modelos do sistema climático da Terra que incorporam os principais princípios e processos físicos que determinam as condições climáticas. Actualmente os modelos climáticos mais completos e fiáveis, chamados Modelos de Circulação Geral, GCMs (General Circulation Models), incluem o acoplamento entre a atmosfera, o oceano e os gelos das calotes polares. Estes modelos dão-nos uma representação integrada e coerente do sistema climático e simulam a evolução do vento, temperatura, precipitação, humidade do solo, área coberta de neve, extensão das calotes polares, circulação oceânica e outras variáveis para todo o globo para períodos da ordem de décadas a séculos. Um dos modos de avaliar o nível de confiança que podemos ter nas projecções obtidas com estes modelos é testar a sua capacidade para simular o clima passado e presente.

O que é um cenário?

Dados obtidos com termómetros indicam que a temperatura média global da atmosfera à superfície aumentou desde meados do século XIX e que durante o século XX esse aumento foi de $0.6 \pm 0.2^\circ \text{C}$. No último século, o aquecimento deu-se essencialmente em dois intervalos de tempo, 1910 a 1945 e 1976 a 2000. As actuais simulações do clima durante o século XXI, obtidas com modelos climáticos, reproduzem satisfatoriamente as tendências observadas na temperatura e indicam que é muito improvável que o aquecimento observado seja devido inteiramente a causas naturais. Mais, as simulações do clima usando GCMs, indicam que a maior parte do aquecimento observado nos últimos 50 anos é devido, muito provavelmente, ao aumento antropogénico dos GEE na atmosfera.

É também muito provável que o aquecimento da troposfera tenha contribuído significativamente para o aumento do nível médio do mar, da ordem de 10 a 20 cm, observado durante o século XX.

Certamente que, em todo o mundo, os combustíveis fósseis vão continuar a ser utilizados durante o século XXI. É pois bem claro que as concentrações de CO_2 e de outros GEE na atmosfera continuarão a aumentar durante o século XXI. Estes aumentos irão causar, muito provavelmente, uma mudança climática pelo que uma gestão avisada e prudente dos riscos potenciais envolvidos exige que se proceda a uma avaliação dos impactos da mudança climática.

Para atingir este objectivo é necessário dispor de modelos climáticos fiáveis e que tenham sido testados. Contudo, precisamos também de considerar o desenvolvimento sócio-económico e tecnológico futuros, dado que determinam as emissões antropogénicas de GEE para a atmosfera e têm influência na natureza e magnitude dos impactos da mudança climática.

Em conclusão, é imprescindível procurar construir descrições plausíveis e necessariamente simplificadas do modo como o futuro se irá desenvolver para poder resolver o problema de determinar os impactos da mudança climática. Estas descrições são chamadas cenários e são baseadas num conjunto coerente e compatível de pressupostos sobre as principais forças e interacções presentes. Os cenários mais importantes em estudos de mudança climática são os cenários climáticos, que dão uma representação do clima futuro e os cenários de emissões, que dão uma representação das emissões futuras de GEE e aerossóis de acordo com diferentes percursos de desenvolvimento.

Os cenários climáticos apresentados neste trabalho envolvem projecções do clima futuro baseadas na simulação da evolução do sistema climático obtida com GCMs. Não são previsões do clima futuro, no sentido estritamente determinístico, porque dependem dos cenários de emissões que contêm uma imprevisibilidade intrínseca associada às acções humanas e sociais.

Quais as incertezas?

É muito importante salientar que tanto as emissões futuras de GEE e aerossóis, como os seus efeitos sobre o sistema climático, bem como as consequências que daí resultam no ambiente e na economia estão sujeitos a incertezas. A discussão e a apresentação clara destas incertezas ao público e aos decisores políticos é muito importante para lhes facilitar a tarefa de encontrar e prosseguir estratégias de redução do risco. Encontram-se incertezas nas várias fases de um processo de avaliação dos impactos das alterações climáticas e medidas de adaptação. Há incertezas nos cenários das emissões de GEE. Os cenários climáticos resultam de simulações obtidas através de modelos do sistema climático, obviamente simplificados, que não conseguem reproduzir a sua complexidade especialmente à escala regional e a escalas de menor dimensão. Há também incertezas nos cenários sócio-económicos necessários para fazer estimativas dos impactos futuros das alterações climáticas. Finalmente, há incertezas envolvidas na avaliação dos impactos e respectivas medidas de adaptação concebidas para reduzir os efeitos adversos.

A incerteza encontra-se tanto na elevada confiança, quase certeza, como nas conjecturas mais ou menos bem fundamentadas e nas especulações. Resulta principalmente da falta de informação, falta de conhecimento científico dos processos, variações estatísticas, erros de medição, variabilidade, aproximações e afirmações subjectivas. Algumas categorias de incertezas podem expressar-se através de probabilidades, mas outras não. Actualmente não é possível fazer uma estimativa da probabilidade associada a cada uma das diferentes projecções do aquecimento global antropogénico no período 1990 – 2100. Para intervalos de tempo de menor duração, da ordem de 50 anos, apenas agora se está a tornar possível fazer estimativas probabilísticas da taxa de aquecimento. No presente relatório procuramos identificar as incertezas mais importantes e utilizar o conjunto de termos adoptados pelo IPCC para procurar relacionar o grau de incerteza com probabilidades: praticamente certo (99% ou mais), muito provável (90 a 99%), provável (66 a 90%), probabilidade média (33 a 66%), improvável (10 a 33%), muito improvável (1 a 10%) e altamente improvável (1% ou menos).

O Clima Recente de Portugal Continental

Portugal Continental tem um clima Mediterrânico com a temperatura média anual a variar entre os 7°C nas terras altas da região centro e os 18°C junto da costa sul. A precipitação média anual é um pouco superior aos 900mm, com uma variação espacial muito pronunciada. Na zona montanhosa situada no noroeste do país a precipitação média anual ultrapassa os 3,000 mm (sendo uma das zonas mais húmidas da Europa) enquanto que no sudoeste alentejano é apenas da ordem dos 500mm.

A temperatura média do ar em Portugal Continental no período 1931–2000 apresenta uma tendência crescente desde a década de 1970, tendo os 6 anos mais quentes ocorrido nos últimos 12 anos (Figura 1). Os dados de diversas estações climáticas mostram dois períodos distintos de aquecimento, 1910–'45 e 1976–2000, o que está de acordo com as tendências da temperatura média observadas à escala global. A taxa de aquecimento observada desde 1976 é significativamente maior do que a que se verificou durante o período 1910–'45. Por outro lado, o aumento da temperatura média resultou de uma subida maior da temperatura mínima diária do que da temperatura máxima diária, embora ambas tenham aumentado no período 1976–2000. Como resultado, a amplitude térmica diária tem vindo a decrescer neste período em muitas estações climáticas portuguesas.

Os dados da precipitação no período 1931–2000 revelam uma tendência decrescente generalizada, embora fraca, que se torna mais pronunciada a partir de 1976. Desde 1976, existem igualmente diferentes tendências da precipitação entre estações do ano, com uma redução significativa da precipitação acumulada durante a Primavera acompanhada por variações menos claras nas restantes estações do ano. As tendências observadas parecem implicar uma redução da duração da estação chuvosa.

Fig. 1 – Temperatura média do ar em Portugal continental: média regional no período 1931–2000.



Fig. 1 – Temperatura média do ar em Portugal continental: média regional no período 1931–2000.

Os dados climáticos de Portugal Continental sugerem uma tendência para um aumento de eventos meteorológicos extremos na última metade do século XX. A tendência é relativamente clara no que se refere a indicadores climáticos baseados em valores da temperatura e menos óbvia quando se considera a distribuição de precipitação. Contudo, os dados climáticos relativos ao número de dias de seca consecutivos indicam, em geral, uma tendência de crescimento. O máximo anual de precipitação acumulada em 5 dias consecutivos, que constitui um indicador de ocorrência de cheias, está também a aumentar. Salienta-se ainda que os dados climáticos revelam um aumento da frequência de secas severas e extremas, particularmente, nas regiões do sul do país nos últimos 10 anos.

O Clima Futuro em Portugal Continental

Nos últimos anos, diferentes GCMs têm sido utilizados para produzir cenários de mudança climática para o século XXI. Dada a incerteza dos cenários de emissão, a maior parte destes modelos utilizam um dos cenários centrais do IPCC, o cenário IS92a, que consiste numa duplicação do forçamento radiativo dos gases de estufa até ao fim deste século. Alguns cenários de emissão incluem o efeito dos aerossóis sulfatados.

Séries temporais da anomalia da temperatura média (diferença em relação aos cenários de controle) na Península Ibérica, obtidas a partir de vários GCMs com o cenário IS92a (dados disponíveis no IPCC Data Distribution Center) (Figura 2), mostram claramente uma tendência crescente e um aquecimento significativo durante o século XXI. O aumento da temperatura na Península Ibérica na última metade do século XX é da ordem de 1°C, o que é comparável com as observações climáticas. Para 2100 a maioria dos GCMs projectam um aumento de temperatura no intervalo 4°C – 7°C. Tal como era esperado, a incerteza na anomalia da temperatura cresce ao longo do tempo.

As anomalias da precipitação anual foram obtidas para o período 2070–'99 a partir dos mesmos GCMs, em 3 pon-

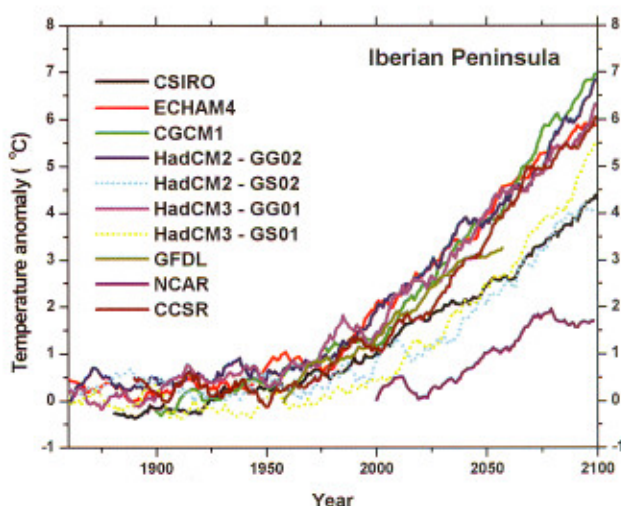


Fig. 2 – Evolução prevista da temperatura média na Península Ibérica obtida com as diferentes simulações dos GCMs.

tos da grelha que caem em Portugal (centro e sul) e na Galiza, Espanha (norte) (Figura 3). Todas as simulações, com uma única excepção, indicam um decréscimo da precipi-

tação. A magnitude do decréscimo é contudo fortemente dependente do modelo utilizado, particularmente nos pontos centro e sul.

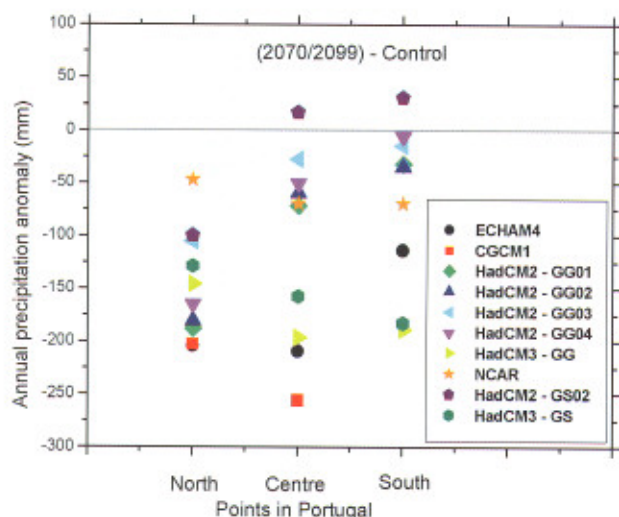


Fig. 3 – Anomalias da precipitação anual na parte oeste da Península Ibérica obtidas com os diferentes GCMs em três pontos situados em Portugal e na Galiza. Note-se que os pontos dos diferentes modelos nas três regiões consideradas não são coincidentes.

O cenário mais provável é uma diminuição da precipitação anual da ordem de 100 mm. As mudanças climáticas afetam igualmente o ciclo anual da precipitação. O padrão geral da distribuição da precipitação mensal, obtida com o mesmo conjunto de GCMs, mostra um aumento no Inverno, um decréscimo substancial nos meses da Primavera, particular-

mente em Abril e Maio, e diminuições mais pequenas nos meses de Verão e Outono.

A resolução horizontal dos GCMs é tipicamente da ordem dos 300km, o que implica que, no máximo, apenas 2 pontos de grelha coincidam com Portugal continental. Esta resolução é insuficiente para avaliar os impactos das mudanças climáticas em muitos sectores, tais como os recursos hídricos, agricultura e florestas. Por essa razão, este estudo baseia-se fundamentalmente nas simulações da mudança climática produzidas pelo Modelo Climático Regional (RCM) HadRM, versão regional do modelo climático do Hadley Centre, utilizado para simular o clima na Europa entre 2080 e 2100, com uma resolução horizontal de 50 km e condições fronteira fornecidas por uma das corridas do GCM HadCM2.

A simulação de controle do clima recente de Portugal Continental obtida com o modelo regional HadRM representa satisfatoriamente o clima observado, incluindo muitos detalhes da sua estrutura espacial, embora apresente um pequeno desvio para as temperaturas mais frias (0.5 a 2°C na temperatura média) e um pequeno desvio húmido (precipitações ligeiramente mais elevadas do que as observações). Esta concordância dá alguma credibilidade aos cenários regionais de mudança climática utilizados nos presentes estudos de impacto. No período 2080–2100, a média das temperaturas mínimas no Inverno (Dezembro, Janeiro, Fevereiro), projectada pelo modelo, varia entre 6°C e 16°C, enquanto na simulação de controle do clima recente varia entre 2°C e 12°C. A média da temperatura máxima no Verão (Junho, Julho, Agosto) sofre um aumento ainda mais substancial, que pode ultrapassar os 9°C em cer-

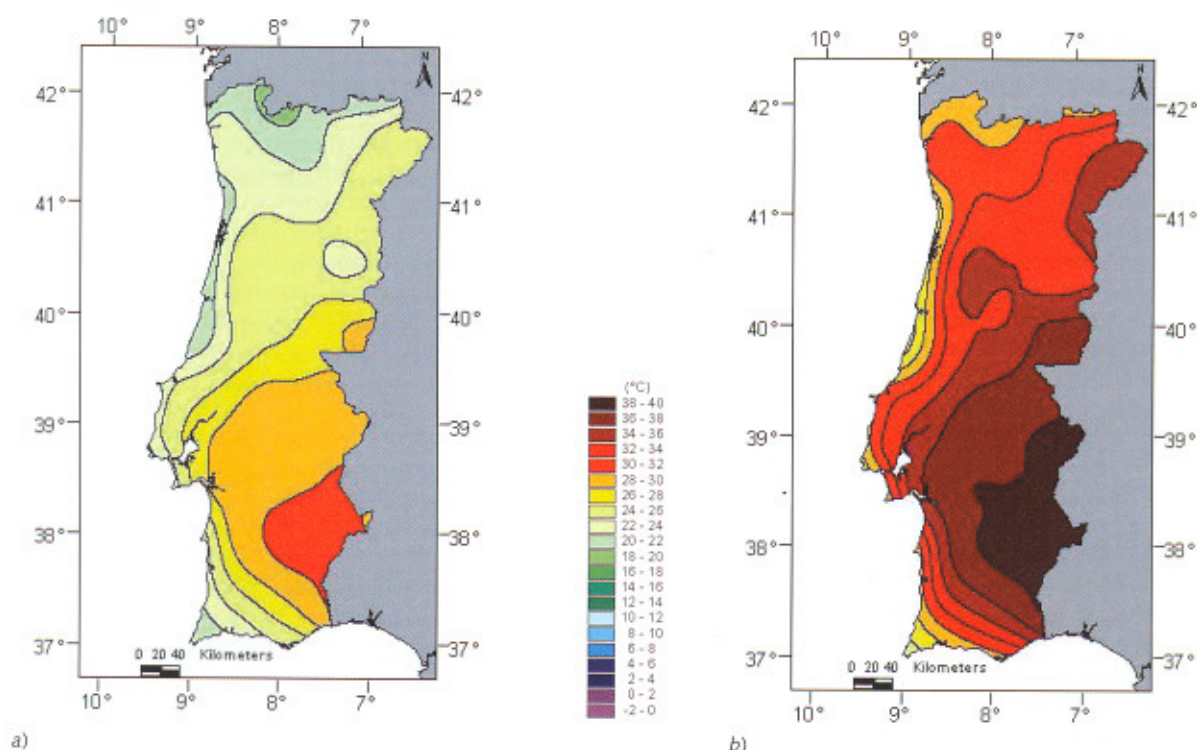


Fig. 4 – Temperatura máxima em Portugal Continental no Verão (Junho/Julho/Agosto) obtida com o modelo regional de clima HadRM para a) simulação de controle; b) simulação com aumento de CO₂ GG02 (no período 2080-2100).

tas regiões do interior centro, atingindo temperaturas superiores a 38°C na parte leste do Alentejo (Figura 4). O número de dias em que a temperatura máxima excede os 35°C aumenta significativamente em todo o país. Na região Sudeste, este número passa de cerca de 20 dias (na simulação de controle) para 90 dias, enquanto na região de Lisboa, aumenta de cerca de 8 dias (na simulação de controle) para aproximadamente 50 dias.

A precipitação anual projectada pelo modelo regional para o período 2080–2100 decresce praticamente em todo o país,

verificando-se uma maior diminuição no Alentejo (cerca de 15% da precipitação de controle). A precipitação aumenta no Inverno em cerca de 20% – 50% dos valores na simulação de controle, e decresce em todas as outras estações do ano. Os decréscimos de precipitação mais importantes dão-se na Primavera (até 30% da precipitação de controle) e no Outono (35 – 60%). Além disso, a precipitação acumulada em dias de precipitação intensa (>10 mm/dia) tende a aumentar e estes dias tendem a acumular-se nos meses de Inverno. Este padrão de alteração pode aumentar significativamente o risco de episódios de cheias.

Recursos Hídricos



© Tiago Silva

De acordo com o Plano Nacional da Água (PNA), a precipitação média anual em Portugal é cerca de 960 mm. A sua distribuição espacial no Continente está longe de ser uniforme, constituindo a bacia hidrográfica do Tejo uma transição entre o norte húmido e o sul seco. As bacias hidrográficas localizadas na região do Noroeste recebem anualmente uma precipitação média de aproximadamente 2,200 mm/ano, enquanto que a bacia do Guadiana recebe apenas 570 mm/ano. A precipitação tem também uma forte distribuição sazonal, com cerca de 70% a 80% da precipitação a ocorrer no período de Novembro a Abril. Importa ainda salientar a forte variabilidade interanual desta variável; a título de exemplo refira-se que, no período 1940–'91, a precipitação média anual variou entre 550 mm e 1,450 mm.

Portugal partilha com Espanha cinco bacias hidrográficas — Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana — que cobrem cerca de 65% do Continente Português. O escoamento médio anual é de 380 mm, cerca de 40% da precipitação média anual. O regime de escoamento é significativamente irregular tanto espacial como temporalmente. Os maiores valores de escoamento, da ordem dos 1300 m/ano, são observados nas bacias do Noroeste, contrastando com os valores mínimos nacionais, de cerca de 160 mm/ano, que são observados nas bacias do Sado e do Guadiana. Os escoamentos mais elevados ocorrem durante o Inverno, com um máximo em Fevereiro, seguindo-se um longo período seco

durante os meses de Verão. A variabilidade interanual do escoamento é igualmente extremamente pronunciada.

A ocorrência de cheias é um problema frequente, afectando a totalidade do território continental desde as pequenas às grandes bacias hidrográficas. Nos cursos de água de menor dimensão, uma cheia pode facilmente ter origem numa chuvada intensa, que ocorre usualmente no Outono e no Inverno. Em cursos de maior dimensão, são necessárias chuvadas de maior duração para produzir inundações.

As necessidades de água anuais no Continente são cerca de 10,000 hm³. As bacias de maior dimensão e com mais população, nomeadamente o Tejo e o Douro, são aquelas onde se observa uma maior procura de água. O sector agrícola é o maior consumidor das disponibilidades hídricas, utilizando quase 75% dos recursos nacionais.

Os impactos das alterações climáticas foram estimados a partir de cenários produzidos por Modelos de Circulação Geral (GCMs) e por Modelos Climáticos Regionais (RCMs), que foram inseridos como dados de entrada num modelo hidrológico, de modo a obter cenários de escoamento. O modelo hidrológico utilizado é usualmente conhecido em Portugal por modelo de Temez e consiste numa versão simplificada do *Stanford Watershed Model*. Como dados de entrada utiliza séries mensais de precipitação e de evapotranspiração potencial da bacia hidrográfica. Na calibração deste modelo foram usadas 35 bacias distribuídas pelo continente português.

Considerou-se o período de 1961–'90 como o período de referência, representativo do clima actual. A caracterização climática deste período baseou-se nos registos históricos de precipitação e temperatura de mais de 500 estações udométricas e 200 estações climáticas pertencentes ao Instituto de Meteorologia e ao Instituto da Água e de algumas estações climáticas espanholas.

Os cenários climáticos futuros foram obtidos usando os resultados do modelo global HadCM3 e do modelo regional HadRM2, ambos desenvolvidos pelo Hadley Centre do Reino Unido. Utilizando o modelo de Temez foram simuladas as condições de escoamento para 2050 e 2100 em 28 bacias hidrográficas representativas dos vários regimes existentes no continente português.

Impactos da Mudança Climática

De acordo com os resultados obtidos, os principais impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos são os seguintes (Figura 5):

- As simulações indicam uma progressiva redução do escoamento anual durante o século XXI. Esta redução poderá ser pequena nas bacias situadas no norte do país e torna-se significativa à medida que nos deslocamos para sul. Observa-se ainda uma tendência clara da concentração do escoamento nos meses de Inverno, induzida por uma tendência semelhante na distribuição da precipitação mensal.
- Uma comparação dos resultados dos modelos HadCM3 e HadRM2 mostra que o último prevê uma maior variação do escoamento resultante de um forte aumento da precipitação no Inverno e de um forte decréscimo no resto do ano.
- Estima-se que em 2100 a variação do escoamento médio anual nas bacias a norte do rio Douro se situe entre +5% e -10%, segundo o HadCM3. O HadRM2 prevê um aumento de cerca de 10%.
- Estima-se que a redução do escoamento médio anual nas bacias do Vouga e Mondego em 2100 se situe entre 15% e 30%, segundo o HadCM3. Os resultados do modelo HadRM2 evidenciam alguma incerteza quanto à direcção da alteração.
- Estima-se que a redução do escoamento médio anual nas bacias do Tejo em 2100 se situe entre 10% e 30%, segundo o HadCM3. Tais reduções deverão implicar longos períodos de baixo caudal, que tenderão a afectar negativamente as disponibilidades de água, nomeadamente na irrigação de campos agrícolas. Os resultados do HadRM2 indicam uma subida do escoamento médio anual devido a um forte aumento da precipitação de Inverno que compensa a redução do resto do ano.
- As bacias do Sado e Guadiana apresentam-se como as mais vulneráveis face às potenciais alterações climáticas. O modelo HadCM3 estima um decréscimo médio do escoamento anual de 60% até 2100. Nestas regiões, o risco de escassez de água, desertificação e seca deverão aumentar.
- Os resultados obtidos para as bacias do Algarve são particularmente incertos devido à forte variabilidade espacial da precipitação em resultado do alinhamento montanhoso que divide as bacias do Algarve das do Sado e Guadiana. Os impactos serão provavelmente negativos, mas não tão pronunciados como nas bacias do Sado e do Guadiana.
- A concentração da precipitação nos meses de Inverno e a tendência de aumento da ocorrência de chuvas intensas conduzirá provavelmente a um cenário de maior risco de cheias, tanto em frequência como em magnitude, especialmente no norte.
- Estima-se que a qualidade de água venha a degradar-se, sobretudo durante o Verão e particularmente na região sul, em resultado das maiores temperaturas e menores volumes de escoamento.
- A previsão de um aumento das necessidades de irrigação, devido ao aumento da temperatura, assim como a previsão de diminuição generalizada dos caudais de Verão deverão ter impactos importantes no sector agrícola, o maior consumidor de água.

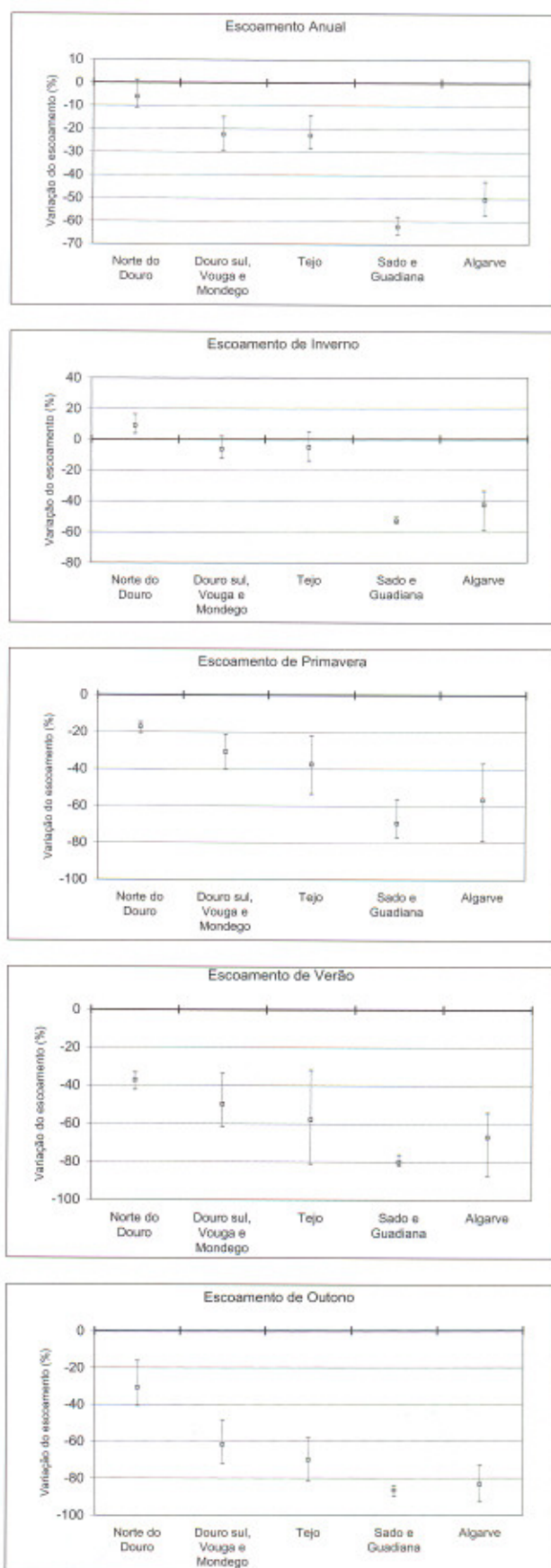


Fig. 5 – Variação do escoamento anual e sazonal para 2100, relativamente ao período 1961-90, em várias bacias hidrográficas de Portugal continental, obtidas com o cenário climático HadCM3.

Em síntese, os cenários estudados apontam para um incremento dos problemas de planeamento e de gestão dos recursos hídricos em Portugal, decorrente da redução das disponibilidades de água, do aumento da variação sazonal do escoamento, do provável aumento das necessidades de água do sector agrícola, da manutenção e provável aumento dos problemas de cheias e, ainda, do provável aumento dos problemas de qualidade de água.

Medidas de Adaptação

O planeamento e a gestão dos recursos hídricos sempre exigiu a capacidade de previsão de tendências de evolução e a adopção de políticas adequadas à incerteza e variabilidade do regime hidrológico. O sistema de planeamento e gestão dos recursos hídricos está por isso bem colocado para adaptar as suas técnicas de planeamento e de gestão aos efeitos das alterações climáticas. Estes constituem apenas um factor adicional que influenciará a tendência e variabilidade futuras, tanto das disponibilidades como das necessidades.

Zonas Costeiras

A linha de costa de Portugal continental tem uma extensão de cerca de 950 km e é morfologicamente muito diversa, podendo classificar-se em quatro tipos principais: praias, arribas, zonas húmidas e costas artificializadas (portos, etc). Destes quatro tipos, as falésias e as praias são os dominantes, com cerca de 348 km e 591 km, respectivamente.

Aproximadamente 75% da população portuguesa vive na zona costeira, onde se localiza igualmente a grande maioria das grandes cidades (Porto, Aveiro, Lisboa, Setúbal, Faro). A percentagem da população que vive na zona costeira está a aumentar e, presentemente, cerca de 85% do Produto Interno Bruto é aí gerado. Devido a este crescimento populacional, aliado ao aumento da riqueza, a procura de recursos marinhos e costeiros para benefícios económicos e recreativos aumenta rapidamente. Há uma clara intensificação dos conflitos de interesses entre várias

A principal mudança conceptual que é necessário introduzir consiste em descartar a hipótese tradicional da engenharia que o registo histórico é um bom indicador das futuras condições climáticas. Os agentes de planeamento e gestão dos recursos hídricos têm de começar a considerar a mudança climática como um dos vários factores de decisão.

Se, por um lado, as alterações climáticas não vêm impor alterações profundas na filosofia de gestão da água, também é verdade que é bastante provável que venham acentuar o desafio permanente que é gerir a água em Portugal. A previsível diminuição das disponibilidades hídricas e o aumento da sua assimetria espacial e sazonal, acompanhada pelo aumento dos períodos de seca e dos problemas de cheias, e pela degradação da qualidade da água vem realçar a importância de políticas de planeamento e gestão da água assentes num conhecimento profundo dos nossos recursos hídricos, que explorem a complementaridade dos recursos superficiais e subterrâneos, e a necessidade de medidas de gestão e de utilização criteriosa da água.

actividades sócio-económicas e a manutenção dos ecossistemas costeiros e a preservação da biodiversidade.

Os ambientes costeiros e marinhos estão intimamente ligados ao clima de diversas formas. Os impactos mais importantes das alterações climáticas nos oceanos são um aumento da temperatura superficial dos oceanos e um aumento do nível médio das águas do mar. Alterações no regime das ondas, na circulação oceânica, na salinidade e na cobertura de gelo oceânico são igualmente esperadas. Importa salientar que os oceanos são uma das componentes mais importantes do sistema climático com fortes interações físicas e biogeoquímicas com o clima.

As zonas costeiras constituem um dos ambientes mais produtivos e de mais alta diversidade biológica na Terra. Os impactos mais relevantes que resultam do aquecimento global e do aumento do nível médio das águas do mar são: a) o aumento do risco de inundação e a deslocação de zonas húmidas; b) a aceleração da erosão costeira; e c) o aumento das inundações associadas às tempestades. Outros impactos importantes são a intrusão salina nos aquíferos de água doce e a penetração de água salgada nos estuários.

Durante o século xx, o nível do mar subiu cerca de 10 a 20 cm ao longo da costa continental portuguesa. Estudos baseados nos registos de marégrafos, indicam um aumento do nível médio das águas do mar de 1.5 ± 0.2 mm/ano em Lagos, para um período de 78 anos, até 1987, e um aumento do nível médio das águas do mar de 1.3 ± 0.1 mm/ano em Cascais, para um período de 104 anos, até 1987. Em Cascais, este valor aumentou para cerca de 1.7 mm/ano, no período de 1920–'87.



© Alexandre Vaz

A erosão costeira é um problema grave que afecta, actualmente, grande parte da zona costeira portuguesa, causando impactos significativos nas infraestruturas de zonas com desenvolvimento económico, bem como nas zonas não desenvolvidas. Recuos da linha de costa da ordem de 1 m/ano ou mais são observados em extensas zonas ao longo da costa. A redução pronunciada no volume de sedimentos transportados para a zona costeira portuguesa resultante da construção de barragens e de outras actividades nas bacias hidrográficas poderá exacerbar a vulnerabilidade desta zona às alterações climáticas e, particularmente, à subida do nível médio do mar. Desde o início do século xx, a redução da área drenada directamente para o mar na zona costeira de Portugal Continental foi da ordem de 85%.

De 1990 até 2100, o conjunto dos cenários climáticos apresentados no Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC projecta um aumento global do nível médio do mar de 0.09 a 0.88 m, com o valor central de 0.48 m. Este aumento tem origem, fundamentalmente, na expansão térmica dos oceanos e na perda de massa dos glaciares. A contribuição da perda de massa das calotes polares é relativamente pequena e de sinal indeterminado. Modelos de simulação indicam que a variação regional do nível do mar é substancial quando comparada com a variação global. Adicionalmente, é necessário ter em conta os movimentos isostáticos e tectónicos.

Estudos recentes para a Europa indicam um aumento global de 20 a 105 cm para a década de 2080 relativamente aos valores observados para o período entre 1961 e 1990. É de notar que o valor mais elevado é muito superior ao previsto pelo IPCC até 2100. Para o mesmo período de tempo até à década de 2080, a costa continental portuguesa deverá sofrer um movimento vertical negativo da ordem de 5 cm. Combinando os dois valores, poderá esperar-se um aumento do nível do mar de 25 a 110 cm até à década de 2080.

A avaliação dos impactos das alterações climáticas na costa continental portuguesa foi baseada na técnica de reconhecimento AVVA — análise da vulnerabilidade por observação de vídeo aéreo. A conjugação do visionamento de um registo de vídeo da costa e de fotografias aéreas com informações obtidas por observação directa das zonas costeiras permitiu classificar a geomorfologia costeira e obter informação sobre os tipos de ambientes costeiros, os usos do solo e os tipos de infraestruturas existentes. Recorrendo a um modelo apropriado e à observação de cartas de risco da zona costeira foram estimados os efeitos biogeofísicos para uma subida do nível médio do mar entre 0.5 e 1 m. Esta metodologia permitiu a determinação das áreas costeiras potencialmente em risco e a avaliação dos impactos e das medidas de adaptação apropriadas para fazer face à subida acelerada do nível do mar.

Impactos da Mudança Climática

Os resultados apresentados na tabela 1 foram obtidos utilizando a técnica de AVVA em 897 pontos, com uma distância média de aproximadamente 1 km, ao longo da costa Portuguesa. Em cada ponto foi identificado o tipo de geo-

morfologia costeira, a protecção costeira e o tipo de uso do solo. Nos pontos observados também se efectuou uma classificação da densidade populacional (baixa densidade populacional com valores inferiores a 10 habitantes por km² e alta densidade populacional com valores superiores a 10 habitantes por km²) e da densidade de desenvolvimento costeiro. Finalmente, foram determinados quais os locais onde existe risco de perda de terreno e onde há necessidade de medidas de protecção.

		Pontos Observados	Km
Geomorfologia costeira	Praias	544	591
	Zonas húmidas	3	3
	Arribas	320	348
	Costas artificializadas	30	33
Protecção	Paredões	85	92
	Enrocamento	3	3
	Quebra-mar	0	0
	Esporões	19	21
	Molhes	14	15
	Portos	11	12
	Sem protecção	765	832
Uso do terreno	Urbano	101	110
	Residencial	87	95
	Industrial	19	21
	Turismo	24	26
	Agrícola	69	75
	Vegetação rasteira	541	587
	Sem vegetação	24	26
	Floresta	18	20
	Sem vídeo	14	15
Densidade populacional	Baixa	589	640
	Alta	184	200
	Indeterminada	124	135
Densidade de desenvolvimento costeiro	Baixa	593	644
	Alta	180	196
	Indeterminada	124	135
Área em risco	Risco de perda de terreno	601	653
	Sem risco de perda de terreno	296	322
Acções de protecção e adaptação	Sim	215	234
	Não	558	606
	Indeterminada	124	135
Tipo de Acção a considerar	Adaptação dos Portos	14	15
	Esporões	21	23
	Paredões	141	154
	Retirada	39	42
	Sem acção	682	741

Classificação e possíveis acções de protecção e adaptação em 897 pontos ao longo da zona costeira de Portugal continental.

A análise dos resultados indica-nos que há risco de perda de terreno em cerca 67% das zonas costeiras. Acções de protecção e adaptação, por forma a minimizar os impactos da subida do nível do mar, são recomendadas para uma extensão de costa na ordem dos 24%. No presente estudo não foi possível proceder a uma avaliação completa da eficiência, executabilidade e custos associados a estas acções.

Medidas de Adaptação

Os impactos da mudança climática e especialmente da subida do nível do mar nas zonas costeiras dependem fortemente da adaptação humana a esta mudança. A adaptação costeira pode ser considerada como um processo iter-

ativo. Existe uma evidência clara da necessidade de uma gestão integrada da zona costeira que inclua o conhecimento e monitorização dos impactos das alterações climáticas e respectivas medidas de adaptação.

As estratégias de adaptação para as zonas costeiras em Portugal devem direccionar-se tanto quanto possível para medidas de protecção suaves («soft measures», tais como a alimentação das praias com areia) em lugar de medidas infraestruturais pesadas (tais como, construção de paredões e esporões). Em certas zonas de elevado desenvolvimento e de elevada densidade populacional as medidas de protecção infraestruturais não poderão ser evitadas.

Nas áreas mais ameaçadas, tais como, zonas húmidas, zonas de costa baixa e estuários, as medidas da adaptação são menos eficazes na prevenção das alterações e perdas dos ecossistemas costeiros.

A migração dos ecossistemas costeiros resultante do aumento do nível do mar, ao ser travada por infraestruturas de protecção costeira tende a provocar o estreitamento da zona costeira, danificando e destruindo desta forma esses ecossistemas. Este processo deve ser evitado, tanto quanto possível, através da gestão do recuo dos ecossistemas e do realinhamento da linha da costa.

Existe uma necessidade clara de desenvolvimento de programas de investigação para estudo dos potenciais impactos e medidas de adaptação à mudança climática nas zonas costeiras de Portugal. Deve ser dada especial atenção ao aumento das probabilidades de inundações, risco de cheias e avaliação dos custos envolvidos, efeitos de erosão, intrusão salina, penetração de água salgada nos estuários e impactos em ecossistemas marinhos e costeiros específicos.

Agricultura

O tempo e o clima afectam a agricultura sob várias formas, desde a produtividade biológica das culturas agrícolas, à possibilidade de executar as operações agrícolas oportunamente, à incidência de pragas, doenças e infestantes, até à distribuição geográfica das culturas numa determinada região ou país. Na Europa, as regiões do sul, incluindo Portugal, são particularmente vulneráveis à variabilidade climática.

A distribuição actual das culturas agrícolas é condicionada pelo clima, pelo tipo de solo e pela disponibilidade de água para irrigação. São, porém, as influências sociais e económicas que determinam mais fortemente o tipo de culturas praticadas, se todas as outras condições se conjugarem favoravelmente. A agricultura portuguesa é dominada pela Política Agrícola Comum da União Europeia, que procura simultaneamente integrar preocupações de protecção ambiental, potencialidades das áreas agrícolas, mantendo o rendimento económico e o bem-estar social dos agricultores.

Embora seja de esperar que as mudanças climáticas previstas terão impactos muito importantes na agricultura, é impossível prever claros padrões de mudança no uso do solo arável. Por este motivo, o presente estudo foca-se na estimativa dos impactos da mudança climática no desempenho biológico de determinadas culturas seleccionadas.

A avaliação dos impactos da mudança climática em culturas agrícolas específicas foi baseada, primariamente, no uso de modelos de simulação da série DSSAT (Decision Support Systems for Agrotechnology Transfer).

As culturas escolhidas no presente estudo foram o trigo e o milho, na medida em que são duas das culturas mais importantes dos campos agrícolas, ocupando 7% e 4% respectivamente, do total da área arável portuguesa, que é 3.8×10^6 ha. O trigo é uma típica cultura de sequeiro, com um comportamento muito similar ao de outras espé-

cies herbáceas cultivadas em Portugal, nomeadamente, a aveia, a cevada e o centeio, e o milho é a principal cultura de regadio com exigências climáticas muito semelhantes à da maioria das culturas regadas na Primavera-Verão. Além disso, são representativos no que respeita às respostas ao aumento da concentração de CO_2 na atmosfera. O trigo é uma planta C_3 respondendo de forma mais positiva ao aumento do CO_2 do que o milho, que é uma planta C_4 .

As simulações foram calibradas para as condições de Portugal usando os modelos CERES WHEAT (trigo) e CERES MAIZE (milho). O primeiro modelo foi validado para a



© Tiago Silva

região do Alentejo, com dados estatísticos de produção para o período de 1986–'98, da Direcção Regional do Alentejo, enquanto o segundo foi validado para a Região do Ribatejo, com dados estatísticos de produção da Direcção Regional do Ribatejo e Oeste, para o mesmo período. O cenário de mudança climática utilizado para o período de 2080–'99 foi obtido através do modelo HadRM2.

Impactos da Mudança Climática

A produtividade das culturas é afectada pela mudança climática e pela alteração da concentração de CO_2 na atmosfera. Elevadas concentrações de CO_2 irão estimular directamente a produtividade das plantas e aumentar a eficiência de uso de água. Por outro lado, temperaturas mais elevadas irão apressar o desenvolvimento fenológico das culturas e aumentar a necessidade de água. A esperada diminuição de precipitação na Primavera e no Verão irá aumentar as necessidades de água para irrigação e causar stress hídrico nas culturas de sequeiro, embora a antecipação do ciclo produtivo possa parcialmente evitá-lo. O efeito global sobre a produção irá depender da relativa alteração das concentrações de CO_2 , temperatura, radiação solar e precipitação. No geral, estima-se que o aquecimento conduza a uma deslocação das áreas de cultivo para norte.

Resultados da análise:

- Usando a classificação agroclimática de Papadakis, que classifica a severidade do Inverno e o calor do Verão de acordo com a possibilidade de crescimento de culturas específicas, comparámos a classificação actual com a classificação obtida com o cenário climático obtido usando o modelo HadCM3 em 8 locais homogeneamente distribuídos entre as coordenadas de $41^\circ 32' \text{N}$ a $35^\circ 45' \text{N}$ e $8^\circ 43' \text{W}$ a $7^\circ 4' \text{W}$. Houve 3 casos (no interior Norte e Centro) em que a classificação de inverno "aveia" – inverno suficientemente temperado para a aveia mas não para citrinos – mudou para "citrinos" – invernos suficientemente temperados para citrinos e culturas subtropicais – enquanto que as outras continuaram "citrinos". As mudanças no Verão foram mais extensas; o verão mais frio "trigo frio" e o verão intermédio – arroz –, mudaram para "algodão". As latitudes mais a sul continuaram "algodão".
- Cálculos utilizando o modelo CERES WHEAT numa localização situada a $38^\circ 16' \text{N}$ e $7^\circ 52' \text{W}$, perto de Beja, para o período de 2080–2099, indicam um aumento de 25% nas produções de trigo (de uma simulação média de colheita de 2780 Kg ha^{-1}) e um aumento na variabilidade de colheitas devido ao aumento de stress hídrico, apesar de um ciclo cultural mais curto. O coeficiente de variação aumenta de 46% para 68%. A maior parte do aumento da produção resulta do aumento da concentração de CO_2 . De facto, sem o efeito CO_2 o aumento das colheitas é apenas de 2%. O grande aumento na variabilidade das produções poderia ser reduzido antecipando a data de sementeira, de 1 de Novembro para 15 de Outubro. Estudos iniciais feitos por outros autores europeus indicam um aumento da produção no norte e

centro de Portugal e Espanha e um decréscimo de $1\text{--}3 \times 10^3 \text{ kg ha}^{-1}$ no sul de Portugal e no sul de Espanha.

- Cálculos utilizando o modelo CERES MAIZE numa localização situada a $39^\circ 17' \text{N}$ e $8^\circ 41' \text{W}$, perto de Santarém, para o período de 2080–'99, indicam um aumento nas colheitas de milho na ordem de 12% (de uma simulação média de colheita de $12 \times 10^3 \text{ kg ha}^{-1}$) utilizando uma variedade de milho que permite a mesma duração da cultura. Para obter esta produção é necessário antecipar a data da sementeira de 1 de Abril para 15 de Março. Esta antecipação é possível devido às temperaturas favoráveis à germinação no cenário climático futuro. A concentração de CO_2 esperada é em parte responsável pelo aumento da colheita previsto, apesar do seu efeito ser menor do que na cultura do trigo.
- A variabilidade das colheitas de milho é bem menor que no caso do trigo, uma vez que uma cultura irrigada é menos influenciada pela variabilidade climática. A simulação indica um aumento de 30% nas necessidades de água para irrigação, o que parece uma ser sobrestimativa, uma vez que o aumento de eficiência de uso de água, resultante da maior concentração de CO_2 não é tomado em conta neste modelo.
- A ausência de modelos operacionais de simulação de culturas para outras culturas relevantes em Portugal, tais como as culturas perenes, vinhas e oliveiras, dificultam a quantificação de estimativas dos impactos na produtividade. Estudos levados a cabo por outros autores para a Europa indicam que há um potencial para a expansão da área de cultura da vinha, embora esta seja uma cultura sujeita a várias restrições no âmbito da Política Agrícola Comum, e um aumento na variabilidade das vindimas no que respeita à quantidade e qualidade da produção. A produtividade das culturas tuberosas, tais como a batata e a batata-doce, serão provavelmente beneficiadas em consequência do aquecimento e aumento do CO_2 .
- Uma vez que é provável que a disponibilidade de água para rega seja substancialmente reduzida, particularmente no sul de Portugal, a agricultura será provavelmente comprimida entre um aumento da necessidade de água e uma menor disponibilidade de água.
- O aquecimento global levará provavelmente a uma maior incidência de pragas e infestantes. No caso português, a grande incidência actual de doenças provocadas por fungos, tais como, o míldio e o oídio da vinha, será provavelmente reduzida num cenário de menor precipitação na Primavera. Contudo, no presente estudo, esta questão não foi abordada sistematicamente.

Medidas de Adaptação

As principais medidas de adaptação para combater ou anular os impactos negativos da mudança climática são alterações nas datas de sementeira e colheita, selecção e melhoramento das variedades melhor adaptadas a um clima mais quente e seco e adequação de práticas culturais.

Nas regiões do sul de Portugal, onde a disponibilidade de água tende a diminuir significativamente, a substituição de culturas pode ser uma importante estratégia para uma maior eficiência de uso de água.

Saúde Humana

Nas últimas três décadas o progresso económico tem-se traduzido por um acentuar das melhorias globais na saúde e na esperança de vida dos Portugueses. Actualmente as doenças crónicas tais como o cancro e as doenças do sistema circulatório, são as principais causas de morte. Nas crianças, os acidentes e a asma constituem preocupações fundamentais.

Apesar das melhorias significativas referidas, os avanços no sentido de se identificarem e reduzirem os perigos ambientais para a saúde têm sido lentos. Presentemente, a qualidade da água e do ar ainda apresentam riscos significativos para a saúde. Entre os subgrupos da população mais vulneráveis aos riscos ambientais para a saúde, incluem-se os economicamente mais desfavorecidos, os idosos, as crianças, os que sofrem de deficiências imunitárias, as comunidades rurais e as populações migrantes as quais, frequentemente, carecem de infra-estruturas básicas.

Da análise da bibliografia disponível foram identificados vários dos possíveis impactos das alterações climáticas. Os principais resultados apresentam-se, de um modo resumido, nos próximos parágrafos. Os impactos resultantes da destruição da camada de ozono, do aumento do nível das águas do mar, de eventual escassez alimentar e da circulação internacional de pessoas são aspectos que não foram contemplados no presente estudo.

Impactos da Mudança Climática

Aumento potencial de mortes relacionadas com o calor

O aumento de mortes devido a temperaturas extremas é um impacto directo das alterações climáticas na saúde.

É conhecido que, em Portugal, as mortes relacionadas com o calor ocorrem após períodos prolongados de temperaturas elevadas (figura 6). Os cenários futuros de alterações climáticas apontam para temperaturas mais elevadas e períodos de temperaturas elevadas mais frequentes. Prevê-se que tais aumentos afectem, predominantemente, as zonas urbanas, sendo particularmente perigosos para os idosos e indivíduos com problemas cardiovasculares ou outras alterações da saúde pré-existent. É, também, provável que o facto de os invernos passarem a ser mais suaves possa contribuir para a redução da mortalidade nesse período. No entanto é difícil atribuir, exclusivamente, tal observação às condições climáticas, pelo que não foi estudada neste projecto.

Aumento potencial de doenças transmitidas pela água e pelos alimentos

As doenças com origem na água e nos alimentos são transmitidas aos seres humanos quando estes entram em contacto com águas e alimentos contaminados com biotoxinas e elementos patogénicos. Embora as gastroenterites sejam as consequências mais comuns, existem outras situações, tais como distúrbios neurológicos, renais e hepáticos, cancro e eventualmente a morte que poderão ser causadas pelo consumo de água e alimentos contaminados. Tanto a qualidade da água como os surtos de doenças transmitidas pelos alimentos são, hoje em dia, preocupações fundamentais para a saúde pública.

Temperaturas mais elevadas potenciam o crescimento e sobrevivência de elementos patogénicos, bem como a produção de biotoxinas. Fenómenos extremos de precipitação têm a possibilidade de aumentar a propagação de elemen-

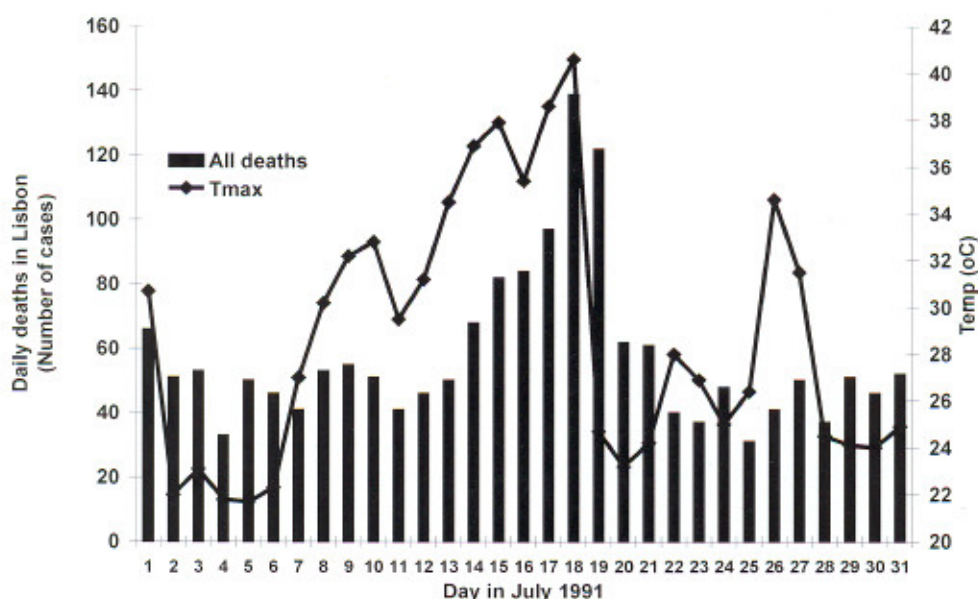


Fig. 6 – Relação entre temperatura máxima diária e mortalidade durante a onda de calor de Julho de 1991 em Lisboa.



© Tiago Silva

tos patogénicos na água e nos alimentos como consequência de alterações tais como, maior concentração de nutrientes, redução da salinidade da água do mar e variações súbitas dos caudais. Mantendo as actuais práticas de gestão e segurança alimentar, e tendo em conta o aumento da temperatura e da frequência de fenómenos de precipitação extrema (como é indicado pelos modelos climáticos) é de esperar um aumento da ocorrência de doenças com origem nos alimentos e na água devido a uma maior taxa de sobrevivência dos elementos patogénicos e à maior produção de biotoxinas.

Aumento potencial de problemas na saúde relacionados com a poluição atmosférica

A qualidade do ar atinge por vezes níveis perigosos para a saúde pública. Se o clima aquecer, como é indicado pelos cenários climáticos, os níveis de ozono troposférico e de alérgenos de transmissão aérea, tais como os pólenes, poderão aumentar. Valores mais altos destes agentes poderão contribuir para o agravamento da asma e outras doenças respiratórias, situações que são preocupações actuais para a saúde pública.

Alterações potenciais do risco de doenças transmitidas por vectores e roedores

Doenças transmitidas por vectores são doenças infecciosas transmitidas aos seres humanos e outros vertebrados por vectores (mosquitos, carraças, etc.) infectados por agentes patogénicos. Da mesma forma, outras doenças são trans-

mitidas por roedores infectados. Para se dar a transmissão da doença é necessária a presença simultânea do hospedeiro (e.g. humanos, aves, roedores), do vector competente, e de agentes patogénicos em número suficiente para manter a transmissão. No que diz respeito aos seres humanos, esta (exposição) verifica-se quando estes entram em contacto com o vector infectado ou com fluidos de roedores infectados, como a saliva e a urina.

Factores climáticos como a temperatura, humidade relativa e precipitação podem alterar a dinâmica de transmissão da doença por influenciarem a longevidade e desenvolvimento do vector, o desenvolvimento do agente patogénico, alterarem a distribuição dos hospedeiros e o habitat do vector ou do roedor. Aumentos da temperatura e variabilidade da precipitação, como os modelos climáticos indicam, poderão traduzir-se em aumentos do risco de transmissão de doenças com origem em vectores e roedores, em particular da doença de Lyme, da Leishmaniose e Leptospirose. Essas alterações do clima poderão, também, vir a favorecer o risco de surtos localizados de malária (*Plasmodium vivax*), febre do Nilo Ocidental ("West Nile virus fever") e schistosomíase. Informação insuficiente impossibilitou qualquer conclusão no que se refere à febre escarlatina-nodular.

Medidas de Adaptação

Com base nos possíveis impactos adversos na saúde que foram avaliados, recomendam-se as seguintes medidas:

- Desenvolvimento de medidas de adaptação devidamente planeadas como seja a existência de um "sistema nacional de alerta", planeamento urbano adequado tendo em vista a minimização dos efeitos tipo "ilha de calor" e a utilização de ar condicionado, medidas que permitem reduzir a vulnerabilidade das populações às ondas de calor previstas.
- Melhoria dos actuais sistemas de gestão da água e resíduos, tendo em vista reduzir a vulnerabilidade da população a doenças com origem na água e nos alimentos; desenvolvimento e reforço de sistemas de vigilância epidemiológica e ambiental. Desenvolvimento de medidas que permitam evitar qualquer eventual deterioração de infra-estruturas públicas, com ou sem alterações climáticas.
- Melhoria das medidas de controlo de poluição do ar e dos sistemas nacionais de "alerta" tendo em vista reduzir os níveis actuais de exposição e antecipar futuras consequências para a saúde relacionados com a poluição atmosférica.
- Melhoria dos programas de monitorização e vigilância de vectores e agentes patogénicos, com o objectivo de melhorar o conhecimento e compreensão das doenças com origem em vectores e roedores. Melhorias das actuais infra-estruturas públicas de saúde contribuirão, também, para a redução da vulnerabilidade das populações.

Investigações futuras

Escassez de dados de saúde e ambientais e um grande número de lacunas no conhecimento das complexas

relações entre factores ambientais e a saúde levaram a que o presente estudo apresente um grande número de áreas de incerteza. Consequentemente não foi possível chegar a conclusões definitivas relativamente à magnitude dos potenciais impactos das alterações climáticas na saúde. O papel da investigação epidemiológica em áreas como as que se indicam é decisivo e urgente, tendo em vista reduzir as principais lacunas do conhecimento e permitir o desen-

volvimento de mais estudos nacionais que abordem de um modo mais aprofundado as relações entre a vulnerabilidade da saúde pública e as alterações climáticas.

- Melhoria da investigação em sistemas de monitorização e vigilância ambiental e de saúde.
- Desenvolvimento de programas de investigação no domínio das relações entre clima e saúde pública.

Energia

O sector energético é definido nas contas nacionais como o conjunto de actividades relacionadas com o carvão, petróleo, gás, e abastecimento de água e electricidade. No período 1990-1995 estas actividades representaram de 3.5% a 4.0% do PIB.

Nas últimas décadas a procura de energia progrediu cerca de 5% a 6% ao ano, um crescimento mais rápido que o do PIB (3% a 4% no mesmo período). Este aumento da procura deveu-se em particular aos sectores de serviços e de transportes, e foi suportado essencialmente por maiores importações de petróleo e gás natural (Figura 7). Recordase que — contrariamente a outros parceiros europeus e da OCDE — Portugal não possui jazidas de combustíveis fósseis significativas, e que só a hidroelectricidade é explorada em larga escala.

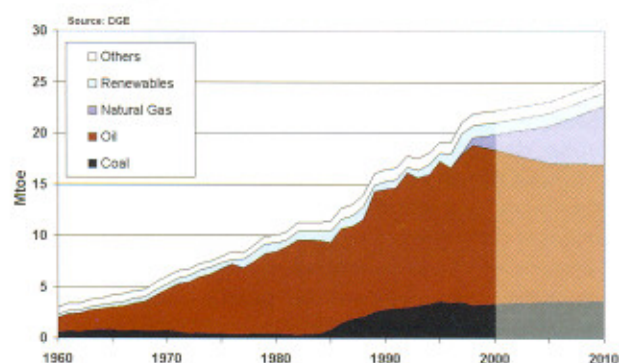


Figura 7 – Evolução do abastecimento de energia primária para Portugal, por origem. Os valores de 2000-2010 são cenários da Direcção Geral de Energia.

Impactos da Mudança Climática

A resposta do sector energético às alterações climáticas foi estudada pelo SIAM nas suas perspectivas complementares da oferta e da procura de energia.

Oferta

- Impactos não significativos nas centrais termoeléctricas
- Possibilidade de aumento de produção nas centrais hidroeléctricas a Norte

- Redução da produção nas restantes centrais hidroeléctricas
- Aumento das perdas no transporte e distribuição de electricidade
- Melhor desempenho dos sistemas solares, efeitos pouco significativos nos sistemas oceânicos e eólicos

O impacto directo das alterações climáticas nas (actuais) centrais termoeléctricas é muito pequeno (-0.1% a -0.2% na eficiência). Foram examinados ainda outros impactos potenciais, ligados à subida do nível do mar, disponibilidade de água para refrigeração, e alteração dos padrões de cheias e tempestades, mas sem resultados que mereçam preocupação.

Quanto às centrais hidroeléctricas, e embora se preveja uma redução geral das disponibilidades de água, é possível que em particular as grandes centrais nortenhas—em particular as do Douro internacional—possam beneficiar de um



aumento da precipitação do Inverno no Noroeste da Península. Em contraste as outras centrais—mini-hídricas incluídas—devem ver diminuída a sua produção devido à diminuição nos caudais dos rios e maior evaporação. O resultado nacional pode ainda assim ser positivo, dada a distribuição particular das grandes centrais. Existem ainda efeitos trans-setoriais, devidos, por exemplo, a uma maior competição pela água para abastecimento público e irrigação agrícola, contudo com uma expressão muito reduzida na situação portuguesa concreta.

Um aumento da temperatura ambiente traduz-se num aumento da resistência dos condutores eléctricos clássicos. Portanto é de prever que as perdas eléctricas aumentem cerca de 1,6%, tanto no transporte de electricidade (média e alta tensão) como na distribuição (baixa tensão).

Uma maior abundância de radiação solar durante o Verão, auxiliada de forma secundária por uma temperatura ambiente mais elevada, permitirão uma melhoria no desempenho dos sistemas solares de aquecimento de águas (cerca de 8% melhor). Também no caso dos sistemas fotovoltaicos deverá haver um impacto positivo na produção eléctrica de cerca 5%.

Procura

- Decréscimo das necessidades de aquecimento em edifícios
- Forte aumento das necessidades de arrefecimento ambiente
- Pequena mas significativa redução nos consumos de energia para água quente

O desempenho térmico de edifícios—residenciais e de serviços—foi feito recorrendo à simulação numérica de um conjunto de edifícios representativos, em várias regiões do País. Foram ainda considerados cenários sócio-económicos detalhando o número, tipo e uso dos edifícios no futuro. Obtiveram-se aumentos do consumo anual de energia em

todos os casos (Figura 8) já que os aumentos das necessidades de arrefecimento excedem os ganhos por menor aquecimento, assim como as reduções nas necessidades para aquecimento de águas (cerca de 3%). Os aumentos têm bastante maior expressão no Sul e Centro: cerca de 50% a 60%.

Medidas de adaptação

Dada a natureza particular do sector energético como principal responsável das emissões de gases com efeito de estufa, é difícil distinguir as políticas e medidas de adaptação daquelas dirigidas à redução de emissões (mitigação)—que aliás poderão ter uma influência no sector bastante maior que os impactos e as medidas de adaptação em si.

As adaptações não forçadas do sector seriam simplesmente um aumento da procura, sustentado por importações adicionais de petróleo e gás natural. Mas tendo como objectivo um controlo do consumo energético e das emissões, as potenciais medidas de adaptação envolvem, na sua maioria, uma melhor gestão e um redimensionamento dos sistemas de produção de energia—como no caso das grandes barragens, sistemas solares e mini-hídricos—ou ainda melhorias na envolvente dos edifícios, nos equipamentos interiores e na sua utilização de forma mais racional.

Investigações Futuras

Foram identificadas muitas áreas de preocupação para o sector energético, que merecem um estudo mais aprofundado, de modo a obter estimativas de impacto mais precisas e os seus valores monetários associados. Em particular podem e devem ser utilizados modelos mais detalhados e estudos de caso, e consideradas sinergias com outros sectores.

Citam-se os casos dos sistemas hidroeléctricos, bombagem de água para irrigação, perdas eléctricas regionais, uso da água nas novas centrais de ciclo combinado a gás natural, e novas estratégias para a conservação de energia em edifícios.

Outros temas que foram identificados não puderam ainda ser abordados, por exemplo o uso de ar condicionado em veículos e os impactos nas Ilhas Adjacentes. É também necessário o desenvolvimento de melhores e mais detalhados cenários sócio-económicos e tecnológicos para o sector energético no longo prazo.

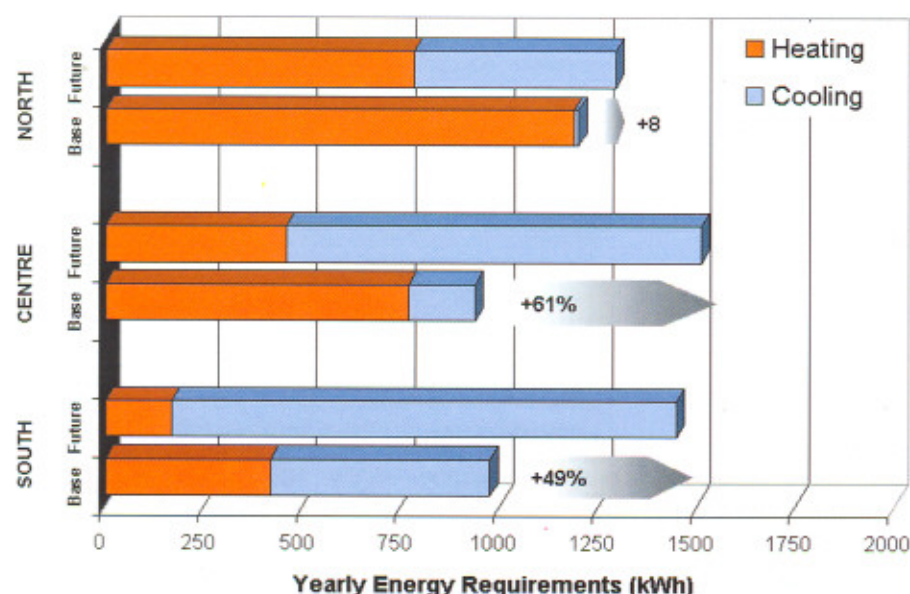


Fig. 8 – Impactos no condicionamento ambiente de residências.

Florestas e Biodiversidade

As florestas em Portugal cobrem 3 200 000 ha o que corresponde a cerca de 36% da área total do país. A importância do sector florestal é bem reconhecida, sendo um dos principais sectores da economia nacional (cerca de 3,4% do Produto Interno Bruto, em 1993). A maior parte da área florestal é privada; 85% é propriedade privada, 3% é propriedade da administração central e 12% é propriedade de comunidades locais.

Para além do valor económico directo da floresta como fonte de matérias-primas, os ecossistemas florestais, desempenham várias funções importantes no domínio ambiental e dos serviços. Sabe-se que as florestas actuam como filtros para determinadas substâncias poluidoras libertadas para o ambiente pelas actividades humanas. Por outro lado as florestas constituem uma importante reserva de biodiversidade que deve ser preservada. Florestas nativas e montados constituem o habitat de algumas espécies raras e em perigo de extinção, como é o caso da *Ciconia nigra* (cegonha negra) e *Lynx pardina* (lince ibérico).

A crescente urbanização da nossa sociedade conduziu a um aumento da procura das florestas e dos ecossistemas associados (em especial nos rios, ribeiros e lagos) para actividades de lazer e recreio, como, por exemplo, a caça e a pesca. Hoje em dia não é possível avaliar a importância e o valor das florestas sem considerar a sua componente de

recreação, embora seja ainda difícil quantificar o seu valor económico.

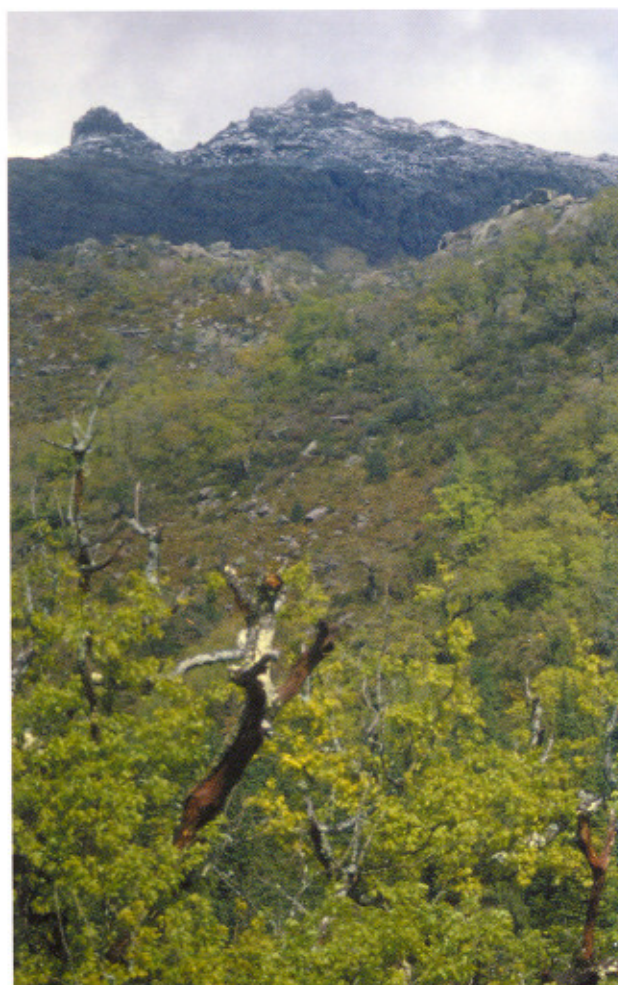
Impactos da Mudança Climática

Produtividade da Floresta e balanço de Carbono

- O funcionamento do ecossistema, a produção de matérias primas industrial e de serviços pela floresta, bem como a capacidade de sequestro de carbono dependem da produtividade primária (vegetal). Usámos um modelo de base processual (BIOME4) para simular a distribuição da vegetação potencial de tipos de vegetação e a sua produtividade. A estimativa da Produtividade Primária Líquida (PPL) baseada numa distribuição óptima dos tipos de vegetação, sugere um decréscimo da PPL na maior parte do País devido ao aumento da deficiência hídrica no cenário climático futuro.
- Nas zonas do País onde não se espera um decréscimo na disponibilidade hídrica até níveis limitantes, a ocorrência de Invernos mais quentes e o aumento da concentração de CO₂ atmosférico poderão contribuir para o aumento da PPL no futuro. Estes aumentos poderão ocorrer sobretudo nas zonas mais húmidas e frias do País, como o Nordeste, onde se prevêem precipitações relativamente elevadas no futuro.
- As alterações da vegetação sugeridas pelo modelo implicam a substituição dos tipos de floresta em determinadas áreas, desde que o tempo seja suficiente para permitir a migração natural das espécies. Sendo pouco provável que tal aconteça na escala temporal prevista, é admissível que a vegetação existente fique sujeita a maiores stresses ambientais. Esta hipótese foi apoiada por simulações da PPL com um modelo de base processual mais complexo (BIOME-BGC), com o pressuposto que a vegetação actual se manteria *in situ* no cenário climático futuro.
- É provável que a frequência de fenómenos climáticos extremos, como por exemplo, ciclones, secas severas ou ondas de calor prolongadas, em conjunto com o aumento do risco meteorológico de incêndio, venha a aumentar no futuro. Estes fenómenos aumentam o risco de perdas de produtividade pela mortalidade e subsequente degradação do solo.
- As florestas podem actuar como sumidouros para o dióxido de carbono, contribuindo para a mitigação do efeito de estufa. A capacidade actual das florestas portuguesas de armazenar carbono é elevada. No futuro, contudo, esta capacidade poderá não ser tão elevada devido a: (1) decréscimo ou aumentos ligeiros na PPL, (2) diminuição da biomassa vegetal devido a alterações na distribuição da vegetação e aumento da frequência de incêndios e (3) aumento da respiração do solo devido aos invernos mais quentes, diminuindo a importância do carbono armazenado no solo.

Migração e extinção de espécies florestais chave

- As alterações associadas ao cenário climático futuro acontecerão demasiado depressa para permitir a migração natural da maioria das espécies florestais. É pouco provável que a migração das principais espécies



© Tiago Silva



© Filipe Duarte Santos

florestais ocorra sem intervenção do homem, isto é, serão necessárias acções de reflorestação com espécies melhor adaptadas para que ocorra um ajuste da composição das florestas às futuras condições climáticas. Há, porém, diferenças entre espécies. Árvores de crescimento lento, como a azinheira ou o sobreiro dificilmente migrarão naturalmente, enquanto que o pinheiro bravo e algumas espécies exóticas invasoras, como as *Acacia* spp., poderão ocupar novas áreas (por exemplo, locais degradados), competindo com as espécies autóctones.

- Algumas espécies florestais podem sofrer mortalidade severa nos limites mais secos da sua distribuição actual. Alterações na dominância de espécies poderão ocorrer em simultâneo com alterações nas áreas de distribuição. As regiões interiores e as meridionais estarão mais susceptíveis devido ao maior aumento relativo da aridez. Enquanto que o declínio do sobreiro poderá continuar a ocorrer no Alentejo, a azinheira poderá tolerar melhor o aumento da deficiência hídrica e persistir em povoamentos abertos como os montados.

Fogos florestais

- Prevê-se um aumento substancial do risco meteorológico de incêndio em todo o País. Nas regiões do norte e centro espera-se um aumento de três a cinco vezes do número de dias com valores do índice climático de risco de incêndio (FWI, Fire Weather Index) correspondentes a situações de risco muito alto e extremo. Os resultados do modelo sugerem também o prolongamento da época de incêndios, uma vez que os valores do FWI são mais elevados que os actuais no final da Primavera e princípio do Outono.

Pragas e doenças

- As populações de insectos poderão ser pouco afectadas pelos invernos mais quentes. As taxas de crescimento das populações existentes podem, no entanto, ser estimuladas pelo aumento da temperatura, principalmente nas espécies multivoltinas (que produzem várias gerações por ano), como os afídeos e adelgídeos. Nas regiões interiores e meridionais, a maior aridez pode aumentar os

danos causados por pragas, nomeadamente os perfuradores (por exemplo, *Coroebus undatus*, *Coroebus florentinus*, *Platypus cylindrus* no sobreiro e azinheira, e *Phorachanta semipunctata* no eucalipto) e outras espécies secundárias, como os ambrosiófagos.

- O aumento da temperatura invernal, quando acompanhado por humidade elevada, poderá favorecer os surtos de fungos patogénicos (por exemplo, *Phytophthora* spp., *Armillaria mellea*), causando a morte das árvores ou aumentando a vulnerabilidade à secura estival e aos ataques por outras pragas. Invernos mais quentes e húmidos no norte e centro de Portugal poderão aumentar o risco de invasão de outros agentes patogénicos (por exemplo, *Ceratocystis fagacearum* nos carvalhos, *Sphaeropsis sapinea* nos pinheiros).
- O risco de invasão por pragas e doenças de origem tropical ou subtropical irá aumentar com a globalização do comércio e a "tropicalização" do clima em Portugal.

Biodiversidade e áreas protegidas

- Algumas populações animais, principalmente as que possuem distribuição geográfica limitada, habitats específicos ou populações reduzidas, poderão não conseguir adaptar-se a alterações rápidas no clima, existindo risco de extinção principalmente em populações com baixas capacidades de reprodução e dispersão.
- Espécies endémicas como o morcego arborícola pequeno (*Nyctalus leisleri*, um endemismo português), ou o lince ibérico (*Lynx pardina*) e o rato de cabreira (*Microtus cabreræ*) (endemismos ibéricos), são muito vulneráveis. Estas espécies já se encontram actualmente ameaçadas e provavelmente extinguir-se-ão com o aumento da degradação dos seus habitats.
- À medida que o clima em Portugal se tornar mais quente, o risco de invasão por espécies exóticas de regiões mais quentes torna-se uma ameaça maior para a biodiversidade.
- A vulnerabilidade das áreas protegidas foi analisada separadamente devido ao importante papel que desempenham na conservação da biodiversidade. As alterações esperadas no coberto vegetal e a expansão das zonas semi-áridas terão consequências importantes ao nível dos habitats e das espécies que deles dependem.
- As áreas protegidas foram classificadas com base na vulnerabilidade das comunidades vegetais e animais (vulnerabilidade muito elevada a baixa) e factores antropogénicos. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Muito elevada – Vale do Guadiana, Costa Vicentina

Elevada – Douro Internacional, Estuário do Tejo e Montesinho

Média – Arrábida, Peneda Gerês, Serra da Estrela, Serra da Malcata, Serra d'Aire e Candeeiros, Sintra-Cascais

Baixa – Alvão, São Mamede

Medidas de Adaptação

Produtividade e composição da floresta e balanço de Carbono

- As políticas florestais para o desenvolvimento sustentável do sector florestal devem reflectir um conhecimento aprofundado das possíveis consequências das alterações climáticas.

- As acções de florestação/reflorestação deverão contemplar a utilização de espécies adaptadas às futuras condições.
- As técnicas de silvicultura e exploração florestal devem:
 - evitar mobilizações profundas do solo, uma vez que os processos de erosão podem aumentar nos cenários climáticos futuros;
 - aumentar a disponibilidade de água durante a estação de crescimento nos locais em que se preveja aumento da aridez;
 - aumentar a resistência aos incêndios florestais e aos fenómenos climáticos extremos, como ciclones e secas prolongadas.
- A sobre-exploração dos recursos florestais deve ser evitada, na perspectiva da manutenção do balanço de carbono e da fertilidade do solo sobre condições ambientais mais severas.
- Promover/incentivar programas de melhoramento genético orientados para a adaptação das espécies florestais a temperaturas mais elevadas e maiores deficiências hídricas.
- Aumentar a capacidade de sumidouro de carbono das florestas portuguesas através de acções de florestação/reflorestação, evitando a degradação do solo, protegendo as florestas de maior longevidade, utilizando revoluções (período entre a instalação e o corte final da floresta) tão longas quanto possível e prolongando o tempo de vida útil dos produtos florestais para promover o sequestro de carbono.
- Medidas de prevenção contra fogos florestais (ver secção seguinte) e degradação do solo, na medida em que estes poderão exacerbar os efeitos negativos das alterações climáticas, ampliando o risco de extinções locais e de declínio de espécies florestais chave, principalmente nas regiões interiores e do Sul.
- Desenvolvimento de modelos de gestão apropriados para o combate à desertificação (ecológica e humana) decorrente dos cenários climáticos futuros, promovendo alternativas de subsistência para as populações dessas áreas.

Fogos Florestais

A viabilidade futura de importantes segmentos da indústria florestal, a vida e os bens das populações residentes em áreas florestadas e os valores naturais e culturais de muitas áreas protegidas do País poderão estar comprometidas com o aumento do risco meteorológico de incêndio. Para minimizar este risco, propõem-se as seguintes medidas:

- evitar a florestação das áreas em que se prevê o agravamento das condições de aridez. Desenvolvimento de planos regionais de ordenamento florestal que contemplem áreas substanciais de corta-fogos. Os corta-fogos não têm que ser necessariamente improdutivos, mas requerem práticas silvícolas específicas, dando ênfase aos programas de gestão de combustíveis;
- optimização da gestão de combustíveis a nível regional, aumentando a descontinuidade das áreas florestais;
- diversificação das espécies utilizadas na silvicultura comercial, dando ênfase às espécies folhosas caducifólias;
- implementação de programas de fogo controlado, de forma segura e sustentável, incluindo o seu uso na gestão de pastagens e matos;

- abandonar a prática corrente de supressão sistemática do fogo nas áreas protegidas, reintroduzindo o fogo controlado para evitar a acumulação de combustível;
- a regulamentação do desenvolvimento imobiliário nas interfaces floresta-áreas urbanas e nas áreas predominantemente florestais é extremamente importante. Poderá reduzir os esforços de combate aos incêndios necessários à protecção de vidas e bens nessas áreas, libertando recursos humanos e materiais para uma mais efectiva protecção florestal.

Protecção das florestas contra agentes bióticos

- As instituições nacionais apropriadas devem desenvolver bases de dados e reforçar as medidas de monitorização e prevenção de pragas e doenças das florestas e seus produtos, permitindo a detecção e identificação precoce das que se poderão revelar mais nocivas nas condições climáticas futuras e prevenindo a sua introdução no país.
- Desenvolver o conhecimento científico das estratégias de protecção integrada contra as pragas e doenças mais importantes, promovendo a sua divulgação aos agentes envolvidos e implementando essas estratégias no campo.

Biodiversidade e áreas protegidas

- Implementação rápida das acções propostas na recentemente aprovada Estratégia Nacional para a Conservação da Natureza e da Biodiversidade.
- Uma boa gestão da rede de áreas protegidas existentes, permitindo a movimentação de organismos, é fundamental para a preservação futura das espécies que essas áreas abrigam.
- Corredores ecológicos entre as diferentes áreas protegidas podem favorecer a migração rápida de espécies entre elas, promovendo a diversidade genética e em espécies.
- Combate às espécies invasoras exóticas nos locais onde elas contribuem mais para o declínio das espécies autóctones e da biodiversidade.

Investigações Futuras

Embora a investigação sobre florestas e silvicultura esteja cada vez mais focada nos impactos e nas medidas de adaptação e mitigação às alterações climáticas, é crucial promover a investigação sobre:

- a resposta das espécies individuais e dos ecossistemas florestais às alterações climáticas e o desenvolvimento de modelos que permitam a simulação da continuidade da floresta e da sustentabilidade da gestão florestal;
- os impactos do hipotético aumento da frequência de fogos florestais na produtividade e no balanço de carbono das florestas;
- como maximizar a confiança do País na capacidade de sequestro de carbono das florestas com o objectivo de mitigar os impactos das emissões de gases com efeito de estufa;
- quais os impactos socio-económicos das alterações ecológicas nas florestas, resultantes da mudança climática;
- o impacto de mudanças na composição e vitalidade das florestas nos serviços proporcionados pelas florestas à sociedade humana e respectivos impactos inter-sectoriais.

Pescas

Os cenários climáticos utilizados neste estudo indicam que até ao final do século XXI poderá dar-se um aumento da temperatura superficial do mar na ordem dos 4°C. Os modelos climáticos também prevêem alterações no regime dos ventos, com consequências significativas para o afloramento costeiro (ascensão de águas profundas, mais frias e ricas em nutrientes) característico da costa Oeste portuguesa. A intensificação do vento também poderá contribuir para um acréscimo da turbulência das camadas superficiais, com potenciais impactos sobre a distribuição e abundância dos organismos marinhos e do seu alimento.

No presente estudo, foram consideradas três espécies: sardinha (*Sardina pilchardus*), atum rabilho (*Thunnus thynnus*) e o polvo vulgar (*Octopus vulgaris*). Os critérios para a escolha destas espécies tiveram como base as suas características biológicas e ecológicas, para além do seu elevado interesse económico (Figura 9).

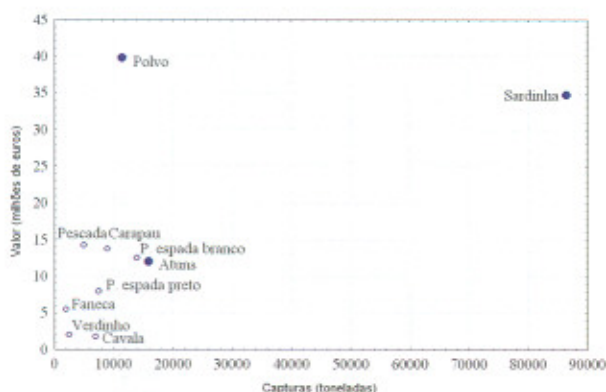


Figura 9 – Capturas e valor de diversas espécies.



© Carlos Sousa Reis

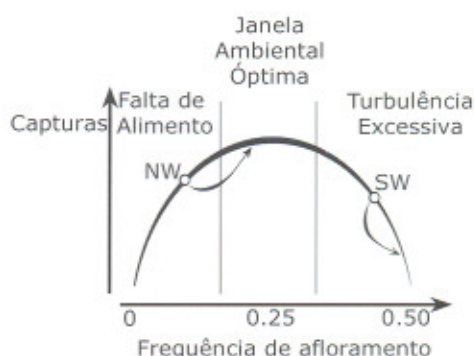


Figura 10 – Impactos previstos da alteração na frequência de afloramento costeiro sobre as capturas de sardinha. NW: costa Noroeste; SW: costa Sudoeste.

Impactos da Mudança Climática

Sardinha

As projecções para a evolução do clima em Portugal sugerem a ocorrência de um aumento nos valores médios da frequência de afloramento costeiro na costa Noroeste (Viana do Castelo-Peniche). Este acréscimo poderá ser benéfico para a alimentação dos juvenis e adultos desta espécie, uma vez que torna as condições ambientais ainda mais favoráveis (Figura 10). Por outro lado, a ausência de variações significativas nos meses mais frios poderá garantir que as larvas permanecem junto da costa, onde têm melhores probabilidades de sobreviver. O número de janelas de Lasker (dias consecutivos com reduzida turbulência gerada pelo vento) poderá tornar-se inferior, mas mesmo assim não deverá ser tão reduzido a ponto de comprometer a sobrevivência das larvas, dado que a desova ocorre sobretudo entre o fim do Outono e o início da Primavera. Em conjugação, estas condições deverão aumentar a produtividade desta espécie na costa Noroeste.

Para a costa Sudoeste (Peniche-Cabo de São Vicente) é projectado um cenário bastante diferente. Aqui, o fortalecimento do afloramento durante a Primavera e Verão (que já é actualmente bastante intenso) poderá produzir um excesso de turbulência, com consequências negativas para a produção primária, uma vez que as populações fitoplanctónicas não receberão luz suficiente. Desta forma, é possível que a mortalidade de larvas e juvenis de sardinha aumente, enfraquecendo por isso o recrutamento (indivíduos jovens que se juntam à população explorável) anual às pescas.

Na costa Algarvia, não são previstas alterações nos regimes de afloramento e turbulência, razão pela qual não se esperam alterações profundas na abundância de sardinha.

Atum rabilho

É provável que o aumento da temperatura superficial do mar (TSM) modifique consideravelmente a dinâmica populacional de *T. thynnus*. Apesar de o conjunto completo de características biológicas e físico-químicas que definem as áreas de desova e o sucesso reprodutor não ser ainda conhecido, parece razoável prever uma melhoria no recrutamento e uma recuperação do rabilho nas próximas

décadas, com base no que sucedeu durante o último período de aquecimento.

Além de alterar a produção, o aquecimento das camadas superficiais do oceano poderá permitir que o rabilho estenda as suas migrações tróficas (i.e., com o propósito de se alimentar) estivais mais para norte, para novas zonas de alimentação. Os mares do Norte poderão voltar a ser povoados por rabilhos, ao mesmo tempo que pequenos peixes pelágicos, característicos de águas quentes (p.ex. sardinha) substituem espécies autóctones (p.ex. arenque).

Polvo

O nível de conhecimento actual indica que a temperatura afecta fortemente a taxa metabólica de *Octopus vulgaris*, e consequentemente as taxas de ingestão e crescimento. Por esse motivo, é provável que o acréscimo da temperatura durante o Outono permitirá o rápido desenvolvimento dos pequenos juvenis planctónicos, aumentando assim as suas hipóteses de sobreviver, desde que exista alimento disponível em quantidade suficiente. A morte por inanição ou canibalismo poderão tornar-se mais importantes, enquanto o risco de predação diminuirá devido ao encurtamento da fase planctónica.

Durante o Inverno e a Primavera, é prevista uma redução na frequência das condições ambientais adversas, aumentando dessa forma a probabilidade de sobrevivência dos indivíduos. A subida da temperatura e salinidade junto ao fundo do mar na vizinhança da orla costeira poderá permitir aos indivíduos permanecer próximo da costa e crescer mesmo nos meses de Inverno. Consequentemente, é previsto um aumento da biomassa populacional.

Medidas de Adaptação

Sardinha

A adopção de medidas de gestão distintas para as três regiões em que a costa Portuguesa foi dividida (Noroeste, Sudoeste e Algarve) é provavelmente a melhor estratégia para lidar com as diferentes alterações previstas na distribuição e abundância da sardinha. Para manter as capturas próximas do rendimento máximo sustentável, é necessário implementar medidas de gestão do stock eficientes, nomeadamente através da regulação do esforço de pesca, tamanho das malhas, estabelecimento de períodos / locais de defeso, etc., tendo também em consideração as políticas de mercado.

Atum rabilho

O sucesso das medidas de adaptação às variações na abundância de rabilho, devidas à alteração do clima só podem ser possíveis se as recomendações feitas pelo Conselho Internacional para a Conservação dos Atuns do Atlântico (ICCAT) forem seguidas por todos os países que exploram este recurso marinho, uma vez que este está actualmente a ser pescado em excesso. Nomeadamente, devem ser respeitados os tamanhos mínimos de captura, assim como as máximas capturas permitidas (TACs) e os defesos.

As técnicas de detecção remota e as experiências de marcação e recaptura podem também tornar-se valiosas no delineamento de estratégias de gestão, uma vez que as alterações nos padrões de distribuição do rabilho causadas pelas mudanças do ambiente marinho levarão provavelmente a um deslocamento espacial do esforço de pesca.

Polvo

A pesca tradicional do polvo (feita com alcatruzes) deveria ser encorajada como resposta ao previsível aumento desta espécie. Ao contrário do arrasto e de algumas armadilhas, as técnicas tradicionais são mais sustentáveis: a captura de outras espécies é muito menos frequente, são capturados apenas indivíduos de médio a grande porte e a perda de artes de pesca no mar é menos prejudicial para o ambiente (de facto, os alcatruzes perdidos até são benéficos, pois funcionam como novos abrigos).

Investigações Futuras

As maiores dificuldades que surgiram na previsão de impactos das alterações climáticas sobre as espécies pescadas reside no facto de não serem ainda claras muitas influências (actuais e passadas) do ambiente sobre a distribuição e abundância dos organismos marinhos. Processos de parasitismo, predação e competição até agora desconhecidos podem vir a desenvolver-se, levando a dinâmicas populacionais inesperadas. Consequentemente, deve ser reforçada a ideia que quase todas as conclusões tiradas no presente estudo estão associadas a várias incertezas.

Deverá ser continuada a investigação de bases de dados actualmente existentes, assim como experiências laboratoriais, quando necessárias. Estimativas do sucesso do recrutamento às pescas, realizada *in situ*, poderá também fornecer conhecimentos valiosos sobre a importância de factores ambientais, para além de permitir uma melhor quantificação da variabilidade do recrutamento.

Todavia, a maior lacuna no presente trabalho foi a restrição a apenas três espécies. Numerosos grupos marinhos não foram representados, como por exemplo os mamíferos (p.ex., golfinhos), elasmobrânquios (p.ex., tubarões), crustáceos (p.ex., lagostas), peixes demersais (p.ex., congros), pleuronectiformes (p.ex., solha), etc. As espécies portuguesas de água doce também não foram discutidas, assim como espécies migratórias como a enguia, a lampreia e o sável. É muito provável que estas espécies sejam afectadas com severidade pelas alterações climáticas, nomeadamente pela redução da precipitação e pelo aumento da temperatura superficial. O desequilíbrio dos ecossistemas dulceaquícolas deverá por isso ser abordado rapidamente, a fim de mitigar as consequências mais adversas.

Em conclusão, admite-se que a abundância e distribuição de algumas espécies seja afectada, sendo "substituídas" por espécies até ao momento tidas como pouco comuns. Neste sentido deverão ser equacionados mecanismos de maior flexibilidade na aplicação de medidas de gestão dos recursos marinhos, bem como uma maior abertura no mercado de produtos de pesca.



ISBN 972-662-814-8



9 789726 628149