

CATÁSTROFES MISTAS

UMA PERSPETIVA AMBIENTAL

IMPRESA DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA
UNIVERSITY
PRESS

LUCIANO LOURENÇO
ADÉLIA NUNES
(COORDS.)

RISCOS
E C A T Á S T R O F E S

I
IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS
U

ESTRUTURAS EDITORIAIS

Série Riscos e Catástrofes
Estudos Cindínicos

DIRETOR PRINCIPAL | MAIN EDITOR

Luciano Lourenço
Universidade de Coimbra

DIRETORES ADJUNTOS | ASSISTANT EDITORS

Adélia Nunes, Fátima Velez de Castro
Universidade de Coimbra

ASSISTENTE EDITORIAL | EDITORIAL ASSISTANT

Fernando Félix
Universidade de Coimbra

COMISSÃO CIENTÍFICA | EDITORIAL BOARD

Ana C. Meira Castro
Instituto Superior de Engenharia do Porto

António Betâmio de Almeida
Instituto Superior Técnico, Lisboa

António Duarte Amaro
Escola Superior de Saúde do Alcoitão

António Manuel Saraiva Lopes
Universidade de Lisboa

António Vieira
Universidade do Minho

Cármem Ferreira
Universidade do Porto

Helena Fernandez
Universidade do Algarve

Humberto Varum
Universidade de Aveiro

José Simão Antunes do Carmo
Universidade de Coimbra

Margarida Horta Antunes
Instituto Politécnico de Castelo Branco

Margarida Queirós
Universidade de Lisboa

Maria José Roxo
Universidade Nova de Lisboa

Romero Bandeira
Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto

Tomás de Figueiredo
Instituto Politécnico de Bragança

Antenora Maria da Mata Siqueira
Univ. Federal Fluminense, Brasil

Carla Juscélia Oliveira Souza
Univ. de São João del Rei, Brasil

Esteban Castro
Univ. de Newcastle, Reino Unido

José António Vega
Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Espanha

José Arnaez Vadillo
Univ.de La Rioja, Espanha

Lidia Esther Romero Martín
Univ. Las Palmas de Gran Canaria, Espanha

Miguel Castillo Soto
Universidade do Chile

Montserrat Díaz-Raviña
Inst. Inv. Agrobiológicas de Galicia, Espanha

Norma Valencio
Univ. Federal de São Carlos, Brasil

Ricardo Alvarez
Univ. Atlântica, Florida, Estados Unidos da América

Victor Quintanilla
Univ. de Santiago de Chile, Chile

Virginia Araceli García Acosta
CIESAS, México

Xavier Ubeda Cartaña
Univ. de Barcelona, Espanha

Yvette Veyret
Univ. de Paris X, França

CATÁSTROFES MISTAS

UMA PERSPETIVA AMBIENTAL

IMPrensa DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA
UNIVERSITY
PRESS

LUCIANO LOURENÇO
ADÉLIA NUNES
(COORDS.)

EDIÇÃO

Imprensa da Universidade de Coimbra
Email: imprensa@uc.pt
URL: http://www.uc.pt/imprensa_uc
Vendas online: <http://livrariadaimprensa.uc.pt>

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Imprensa da Universidade de Coimbra

CONCEÇÃO GRÁFICA

Imprensa da Universidade de Coimbra

PRÉ-IMPRESSÃO

Fernando Felix

INFOGRAFIA DA CAPA

Mickael Silva

PRINT BY

KDP

ISBN

978-989-26-1902-6

ISBN DIGITAL

978-989-26-1901-9

DOI

<https://doi.org/10.14195/978-989-26-1901-9>

RISCOS - ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE RISCOS, PREVENÇÃO E SEGURANÇA

TEL.: +351 239 992 251; FAX: +351 239 836 733

E-MAIL: RISCOS@UC.PT

© DEZEMBRO 2019, IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

CATÁSTROFES MISTAS

Catástrofes mistas : uma perspetiva ambiental / coord. Luciano Lourenço, Adélia Nunes. – (Riscos e catástrofes)

ISBN 978-989-26-1902-6 (ed. impressa)

ISBN 978-989-26-1901-9 (ed. eletrónica)

I – LOURENÇO, Luciano, 1951-

II – NUNES, Adélia, 1971-

CDU 551

SUMÁRIO

PREFÁCIO	7
INTRODUÇÃO	11
RISCOS MISTOS DE COMPONENTE ATMOSFÉRICA.....	17
Riscos atmosféricos mistos	
Ana Monteiro e Helena Madureira	19
RISCOS MISTOS DE COMPONENTE GEODINÂMICA	39
Risco de sismicidade induzida	
Bruno M. Martins	41
Risco de erosão hídrica do solo	
Adélia Nunes	51
Risco de erosão fluvial	
Adélia Nunes	77
Risco de erosão costeira	
António Campar de Almeida.....	109
Risco de erosão eólica	
António Campar de Almeida.....	155
Risco de erosão química	
António Campar de Almeida.....	195
Desertificação	
Maria José Roxo e Carlos Russo Machado	211
Riscos de salinização do solo	
Maria da Conceição Gonçalves, José Casimiro Martins e Tiago Brito Ramos	241
Riscos relacionados com intrusão salina	
Bruno M. Martins	269
Riscos de poluição	
Cármén Ferreira.....	279
Riesgos de incendio forestal	
Miguel E. Castillo Soto.....	313
CONCLUSÃO	361

(Página deixada propositadamente em branco)

PREFÁCIO

O terceiro dos volumes dedicados às Catástrofes trata daquelas que tanto podem ter uma origem natural, como podem ser provocadas pelo ser humano, razão pela qual as designamos por catástrofes mistas. Porque a maioria delas produz efeitos notórios sobre o ambiente, por vezes também são referidas como catástrofes ambientais, embora, neste caso, não seja tida em conta a sua origem, ou seja, as causas que as determinaram, mas sim as suas consequências, o que corresponde a um critério diferente daquele que esteve subjacente à divisão que usámos para organizar os três últimos volumes da Série.

Mas, porque muitas das consequências das catástrofes mistas se refletem exatamente sobre o ambiente, torna-se difícil traduzir esses efeitos em perdas de seres humanos, como fizemos nos dois volumes anteriores, já que mesmo quando elas existem, raramente ocorrem em simultâneo e, por conseguinte, não se tornam tão visíveis como sucede nas catástrofes naturais e antrópicas, em que o número de mortos provocados por um único acontecimento pode ser muito elevado.

Todavia e embora sendo mais raro, as catástrofes mistas também podem provocar muitas mortes, sendo suficiente estar atento às notícias para, de quando em vez, tomar conhecimento de algumas dessas consequências, traduzidas em número de mortes.

Apenas a título de exemplo, referimos duas notícias sobre os efeitos da poluição. Uma delas da autoria de Amber Milne, da *Thomson Reuters Foundation*, publicada no jornal O Globo, de 12 de março de 2019, intitulada: *Poluição mata mais do que cigarro, revela estudo internacional*, dava conta de que “cientistas constataam que 8,8 milhões de pessoas morreram em apenas um ano, mais do que as 7 milhões de vítimas anuais do tabagismo” (<https://oglobo.globo.com/sociedade/saude/poluicao-mata-mais-do-que-cigarro-revela-estudo-internacional-23515245>).

Uma outra notícia, publicada no Público de 4 de abril de 2019, da autoria de Sofia Neves, intitulada *Só em 2017 morreram 3540 pessoas devido à poluição atmosférica em Portugal*, dava conta de que “a poluição do ar foi o quinto principal causador de mortes prematuras em todo o mundo: 4,9 milhões. Em Portugal, o problema

matou pelo menos 3540 pessoas. Os países em desenvolvimento são os mais afectados, mas os casos mais graves continuam a ser a China e a Índia” (<https://www.publico.pt/2019/04/04/ciencia/noticia/quase-dez-mortes-2017-causados-poluicao-atmosferica-1867924>).

E porque, na altura em que estou a redigir este prefácio, as notícias são sobre os grandes incêndios florestais que, de novo, voltaram ao Centro de Portugal, não posso deixar de referir o trabalho da Agência Lusa, publicado no Observador de 18 de junho de 2017, na sequência do incêndio florestal de Pedrógão Grande, registado no dia anterior e de triste memória, com o título: *Os incêndios que mais mataram no mundo*, dando conta de que aquele que mais vítimas mortais causou ter-se-á sido registado em 1871, nos Estados Unidos. “*O incêndio florestal mais mortífero parece ter sido o de outubro desse ano, em Peshtigo (Wisconsin), que causou entre 800 e 1 200 mortos, segundo as estimativas. O incêndio, que tinha deflagrado na floresta há uns dias, destruiu em algumas horas a localidade de 1 700 habitantes, bem como outras 16 vilas, numa área de mais de 500 000 hectares*” (<https://observador.pt/2017/06/18/os-incendios-que-mais-mataram-no-mundo/>). Depois, seguia-se a lista com o número de vítimas mortais provocados por outros grandes incêndios.

Como é sabido, em Portugal o ano com maior número de mortos foi o de 2017, num total de 121, sobretudo vítimas dos incêndios de 17 de junho e 15 de outubro, como refere a Sábado, um ano depois, a 16 de junho de 2018, num texto da Lusa com o título “*Está ‘tudo’ por fazer para que Pedrógão não regresse ao pré-incêndios*”. Entre outros aspetos, menciona expressamente:

“O incêndio que deflagrou há um ano em Pedrógão Grande (distrito de Leiria), em 17 de Junho, e alastrou a concelhos vizinhos provocou 66 mortos e cerca de 250 feridos.

As chamas, extintas uma semana depois, destruíram meio milhar de casas, 261 das quais habitações permanentes, e 50 empresas.

Em Outubro, os incêndios rurais que atingiram a região Centro fizeram 50 mortes, a que se somam outras cinco registadas noutros fogos, elevando para 121 o número total de mortos em 2017” (<https://www.sabado.pt/portugal/detalhe/esta-tudo-por-fazer-para-que-pedrogao-nao-regresse-ao-pre-incendios>).

Com efeito, os grandes incêndios florestais são um bom exemplo de catástrofes de origem mista, não tanto, felizmente, pelo número de mortos, mas sobretudo

pela destruição de diversos tipos de bens e haveres, bem como de extensas áreas de património florestal e, ainda, pelas graves consequências socioeconómicas e ambientais que acarretam *a posteriori*.

De facto, muitas das catástrofes que serão abordadas neste volume, não se traduzem diretamente num elevado número de mortos, mas antes fazem sentir os seus efeitos sobre o ambiente e, deste modo, indiretamente, sobre a população que, por vezes, só mais tarde acaba por ser afetada.

Porventura, as catástrofes mistas que permitem uma quantificação mais direta do número de mortos resultam da plena manifestação dos riscos biomédicos, também designados por riscos do foro infecto-contagioso, em resultado da atuação de microrganismos e parasitas, que podem ser transmitidos por vectores biológicos (vírus e bactérias), por ingestão de água e alimentos, por contágio de sangue contaminado e secreções orgânicas, por inalação e, ainda, por mais de que um dos mecanismos anteriores. Todavia, a conclusão deste capítulo foi mais demorada do que o inicialmente previsto e, para não atrasar mais a publicação deste volume, por opção dos autores foi decido publicá-lo mais tarde, num outro tomo dedicado ao assunto.

Depois desta breve nota sobre algumas das consequências das catástrofes mistas, esperamos ter aguçado o apetite do leitor para não só se embrenhar nas páginas seguintes, onde estes temas serão tratados de forma mais profunda, mas também para se empenhar na investigação das catástrofes mistas, uma área científica que ainda carece de muita pesquisa.

Coimbra, 23 de julho de 2019

Luciano Lourenço

(Página deixada propositadamente em branco)

INTRODUÇÃO

Adélia Nunes

Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras
CEGOT e RISCOS, Universidade de Coimbra, Portugal
ORCID: 0000-0003-3927-0748 adelia.nunes@ci.uc.pt

Os riscos mistos, de componente ambiental, associam-se a fenómeno potencialmente perigosos com causas combinadas, ou seja, para a sua manifestação concorrem condições naturais e/ou ações antrópicas. Resultam, assim, da combinação de ações continuadas da atividade humana com o funcionamento dos sistemas naturais, incluindo-se neste conjunto os incêndios florestais, a contaminação de cursos de água e aquíferos e a degradação e contaminação dos solos. Na terminologia sobre a Redução de Risco de Catástrofes do UNISDR emergem como riscos sicionatu-rais, pois estão associados à combinação de factores naturais e antropogénicos, enfatizando a degradação ambiental e as mudanças climáticas. Acrescentam, ainda, que podem ser riscos químicos, naturais e biológicos, e resultar da degradação ambiental ou da poluição física ou química do ar, da água e do solo. No entanto, muitos dos processos e fenómenos que se enquadram nesta categoria podem ser, também, considerados “*driving forces*” de outros riscos como a degradação do solo, a desfloresta-ção, a perda de biodiversidade, a salinização e o aumento do nível do mar.

Na obra que agora se apresenta analisam-se dois tipos principais de riscos: (i) os riscos mistos de componente atmosférica, quando, além do factor antrópico, se produzem no seio da atmosfera e os (ii) riscos mistos de componente geodinâmica, quando, além da ação antrópica, se relacionam com forças (geodinâmica interna) e processos (geodinâmica externa) que atuam sobre a Terra.

Nos riscos de componente atmosférica, no capítulo intitulado “*Riscos atmosfê-ricos mistos*”, as autoras, Ana Monteiro e Helena Madureira, pretendem identificar algumas das ameaças provenientes da atmosfera que podem causar, direta ou indiretamente, perdas e danos severos para os seres humanos, assim como a sua distribuição planetária. Entre a multiplicidade de riscos que podem ser identificados, abordaram três com grande relevância científica e mediatismo social, associados às alterações na composição química da atmosfera, e dois menos valorizados nos

planos de prevenção, como a queda de meteoritos e os resultantes das pesquisas espaciais. A redução de espessura da camada de ozono, o agravamento do efeito de estufa e a poluição da atmosfera por terem sido identificados como ameaças severas, tanto os estímulos como as consequências têm sido descritos e bastante divulgados na sociedade. Concluem, todavia, que a valorização destes riscos ainda se encontra fortemente condicionada pela magnitude das consequências, diretas e imediatas, e pelo contexto social, económico e político dos alvos.

A abordagem aos Riscos Mistos de componente geodinâmica inicia-se como o capítulo “*Risco de sismicidade induzida*”, da autoria de Bruno Martins. De acordo com o Autor, a génese antrópica de sismos, em reservatórios, minas, campos de petróleo e gás e injeção de fluidos justificam-se, fundamentalmente, pelas mudanças de pressão introduzidas sobre a estrutura geológica, modificadoras das pressões neutras nas falhas, no volume, forças aplicadas e carga. Acrescenta, ainda, que a dimensão da estrutura influi no impacto sobre a área crustal, sugerindo que quanto maior for, maior será o risco de sismicidade.

Os capítulos subsequentes, relacionados com a erosão (geodinâmica externa), têm como denominador comum a água enquanto agente erosivo. A erosão assume, assim, diversas formas: pluvial, resultante das águas das chuvas; fluvial, causada pela água que flui nas linhas de água; costeira, consequência da ação das águas do mar; química, através da reação dos materiais minerais das rochas à água, levando a formação de novos minerais (argilas) e sais solúveis. O “*Risco de erosão hídrica do solo*”, da autoria de Adélia Nunes, sintetiza os tipos e os principais fatores que interferem na erosão hídrica em vertentes. Analisam-se alguns dos principais métodos usados na sua avaliação/monitorização, assim com as atividades antrópicas que mais têm contribuído para acelerar estes processos, bem como as respetivas consequências e algumas medidas de mitigação. Com efeito, a erosão por efeito da água da chuva constitui um dos principais processos de degradação da camada edáfica superficial, à escala global, ameaçando a produtividade agrícola do solo e a estabilidade económica e social de diversas regiões do globo. No capítulo seguinte, da mesma autora, intitulado “*Risco de erosão fluvial*” analisa-se a dinâmica fluvial, enfatizando-se os agentes e processos que atuam ao nível do escavamento, transporte e deposição de sedimentos. São também abordadas as principais formas resultantes, os fatores

intervenientes, alguns dos métodos utilizados na avaliação do transporte de sedimentos e na erosão lateral, assim como na sua proteção.

António Campar de Almeida, autor dos três capítulos que se seguem, debruça-se em primeiro lugar sobre os “*Riscos de erosão costeira*”, discutindo as condições naturais terrestres e marinhas mais favoráveis à ação dos processos perigosos, assim como o aumento da exposição humana a esses processos. São abordadas as dinâmicas próprias da costa de arriba e da costa arenosa baixa e são analisadas as medidas que têm sido tomadas para combater ou mitigar a erosão costeira e possíveis adaptações. No capítulo que intitula “*Risco de erosão química*”, o autor refere que os principais processos químicos que se verificam à superfície da crosta terrestre têm como principal interveniente a água, quer como meio de reação quer como reagente. Assim, entre os múltiplos processos que podem ocorrer, aborda a hidratação, a dissolução, a hidrólise, a oxidação e a redução. São, igualmente, analisados alguns dos efeitos mais evidentes da ação destes processos, quer na natureza quer em construções humanas. Problematisa, também, algumas das alterações que se verificarão, em termos da generalidade dos processos químicos, na sequência das mudanças climáticas previstas.

No capítulo, com o título “*Riscos de erosão eólica*”, também da autoria de António Campar de Almeida, o vento assume-se como agente erosivo, cujos modos de atuar sobre as rochas e de destruir ou construir geoformas são muito diferenciados. Assim, depois de analisar como atua o vento, apresenta o modo como modela a paisagem nas regiões áridas e como pode afetar os solos das regiões semiáridas. Por último, discute algumas das medidas usadas para minimizar os efeitos da erosão eólica, tanto em solos como em dunas, assim como as adaptações humanas a essa erosão.

Maria José Roxo e Carlos Russo Machado, no seu capítulo “*Desertificação*”, descrevem este processo como gradual, marcado pela perda de produtividade do solo e de diminuição da cobertura vegetal, em consequência da interação das atividades humanas com as condições ambientais marcadas por situações de seca e aridez. Analisam a sua dimensão planetária, os processos envolvidos, as consequências, a sua evolução e discutem o papel de organizações como as Nações Unidas e a União Europeia no combate à desertificação, identificando os mecanismos, instrumentos e estratégias adotadas para minimizar os seus efeitos. O “desaparecimento do Mar

de Aral” e o fenómeno da desertificação na Península Ibérica, constituem os estudos de caso. No final, são perentórios quanto à necessidade, perante um cenário em que as alterações climáticas são bem evidentes, dos governos e dos cidadãos, em todo o mundo, terem o conhecimento da dimensão, das causas, consequências e de algumas medidas de mitigação/adaptação aos processos de desertificação.

“*Riscos de salinização do solo*”, de Maria da Conceição Gonçalves, José Casimiro Martins e Tiago Brito Ramos, e “*Riscos relacionados com intrusão salina*”, de Bruno Martins, abordam as questões da salinização, enquanto processos de degradação do solo e dos aquíferos, a nível mundial. Embora o problema de salinização do solo pareça limitado às zonas costeiras afetadas pelas marés (sapais) e a algumas áreas regadas no sul do País (Alentejo), o aumento do regadio e as perspetivas de mudanças climáticas para as próximas décadas, nomeadamente, o aumento das temperaturas e da concentração de sais solúveis na água de rega, podem levar a um acréscimo da área afetada em Portugal e a uma crescente degradação dos solos.

Por outro lado, a excessiva extração de água doce, devido à crescente pressão demográfica nas áreas costeiras, aliada a uma agricultura intensiva, exigentes em consumo de água, têm conduzido a uma penetração da água salgada para áreas mais continentais, responsável pela denominada intrusão salina em aquíferos. Os problemas relacionados com a intrusão salina são mundiais e têm-se agravado ao longo das últimas décadas, com consequências severas para o ambiente, as populações, a economia e a sociedade. De acordo com o autor, B. Martins, a diminuição do risco dependerá em boa parte das estratégias de redução das vulnerabilidades que passarão, necessariamente, por um planeamento e gestão global dos recursos hídricos objetivada num princípio de desenvolvimento sustentável.

O capítulo “*Riscos de poluição*”, de autoria de Carmén Ferreira, inicia-se com a discussão dos termos “poluição” *vs.* “contaminação”, concluindo que que um solo ou uma massa de água pode estar contaminado/a mas não poluído/a, todavia se estiver poluído/a está, obviamente, contaminado/a. Enfatizando os efeitos adversos da ação antrópica nestes dois recursos estratégicos, o solo e a água, dos quais depende o futuro da Humanidade, reforça a necessidade de um controlo da ocupação do solo urbano, das práticas agrícolas e industriais e o respeito pelo cumprimento da legislação relativa a estes recursos, tendo em conta a sua gestão baseada nos princípios de sustentabilidade.

O último dos capítulos desta obra, “*Riesgos de incendio forestal*”, da autoria de Miguel E. Castillo Soto, analisa a incidência geográfica dos incêndios florestais, numa perspetiva multiescalar, desde o global, com o intuito de definir macro zonas de ocorrência, ao particular, ou seja, através da análise de alguns exemplos de incêndios particularmente catastróficos, onde se incluem os incêndios de junho e outubro de 2017 em Portugal. Com efeito, entre os riscos mistos, os incêndios florestais têm merecido maior destaque sobretudo pela sua dimensão global, pelos impactes que provocam nas diferentes componentes da natureza e da sociedade. Apesar de fazerem parte da história da humanidade, os incêndios florestais representam, na atualidade, uma das mais importantes ameaças às funções e serviços dos ecossistemas, de que dependem o bem estar e a qualidade de vida da população.

(Página deixada propositadamente em branco)

**RISCOS MISTOS
DE COMPONENTE
ATMOSFÉRICA**

(Página deixada propositadamente em branco)

RISCOS ATMOSFÉRICOS MISTOS MIXED ATMOSPHERIC HAZARDS

Ana Monteiro

Departamento de Geografia
CEGOT/CITTA/ISPUP, Universidade do Porto, Portugal
ORCID: 0000-0002-3392-2664 anamonteirosousa@gmail.com

Helena Madureira

Departamento de Geografia
CEGOT, Universidade do Porto, Portugal
ORCID: 0000-0002-0047-6450 hmadureira@letras.up.pt

Sumário: Este contributo procura identificar algumas das ameaças provenientes da atmosfera que podem causar direta ou indiretamente perdas e danos severos para os seres humanos tal como existem atualmente distribuídos no planeta Terra. Dentre os vários riscos escolhemos dois bastante discutidos social e cientificamente e dois menos valorizados e muito pouco considerados nos planos de prevenção. Dos primeiros selecionamos a modificação da composição química da atmosfera, o agravamento do efeito de estufa e a depleção da camada de ozono muito divulgados nos media. Dos segundos escolhemos a queda de meteoritos e os resultantes das pesquisas espaciais. Concluímos que o envelope gasoso que nos envolve é vital, mas que apesar de estar cada vez mais e melhor monitorizado ainda é um alvo cujo comportamento, pela sua complexidade, nos surpreende impedindo, frequentemente, a antecipação e prevenção dos riscos.

Palavras-chave: Risco atmosférico, meteoritos, pesquisas espaciais, depleção do ozono, efeito de estufa, poluição atmosférica.

Abstract: This contribution seeks to identify some of the threats posed by the atmosphere that can directly or indirectly cause severe loss and damage to human populations as they are currently distributed on planet Earth. Of the various risks we chose two that are widely discussed socially and scientifically and two others that are less appreciated and have scarcely been considered in the prevention plans. The first two risks concern the modification of the chemical composition of the atmosphere, namely, the worsening of the greenhouse effect and the depletion of the ozone layer widely reported in the media. The other two concern the fall of meteorites and the risks caused by space research. We conclude that the gaseous envelope that surrounds us is vital, but that despite being increasingly observed, it is still a target whose behaviour surprises us with its complexity and thus often inhibits the anticipation and prevention of risks.

Keywords: Atmospheric hazards, meteorites, space research, greenhouse effect, ozone depletion, atmospheric pollution.

Introdução

Sendo a atmosfera uma camada absolutamente essencial para a existência de vida, tal como a conhecemos, à superfície da Terra pode parecer paradoxal falar de riscos¹ atmosféricos. Contudo, os limiares de resistência e adaptabilidade dos seres vivos terrestres a pequeníssimas modificações na temperatura, na pressão ou na composição química deste invólucro gasoso são tão estreitos que transformam este manto protector numa ameaça constante (Douglas, 2013).

De facto, este envelope gasoso corporiza um acaso oportuno excecional tanto pela sua composição química - dióxido de azoto (78%), oxigénio (21%) e água,

¹ O substantivo «risco» deriva do verbo latim “*resicare*” que significa “*cortar separando*” correspondendo na actualidade “*à possibilidade de um acontecimento futuro e incerto*”; “*possibilidade de inconveniente ou fatalidade*” Academia das Ciências de Lisboa, “Dicionário da Língua Portuguesa Contemporânea”, Braga, Verbo, 2001.

dióxido de carbono, metano, ozono e outros gases (1%) – como pela sua estrutura vertical de temperatura e de pressão (Henderson-Sellers, 1986; Houghton, 1986; McIlven, 1992; Simons, 1996).

A primeira camada entre os 0 e os 17km – troposfera – é aquela onde ocorrem a maioria das reações físico-químicas que geram os fenómenos meteorológicos que definem os estados de tempo e que contribuem para a diferenciação climática global. É esta camada que facilita seletivamente a passagem da radiação solar e da irradiação terrestre permitindo, graças ao efeito de estufa, que a temperatura se mantenha dentro dos limites admissíveis para a existência da vida. É desta camada que os seres humanos inalam os cerca de 20 litros de ar por minuto fundamentais para sobreviverem e que terá de ter uma concentração mínima de 19,5% de oxigénio. É também para a troposfera que expiram 5% de vapor de água, 75% de dióxido de azoto, 15% de oxigénio, 5% de dióxido de carbono e em pequeníssimas percentagens árgon amónia, acetona, metanol, etanol e outros compostos voláteis (Henderson-Sellers, 1986; Houghton, 1986; McIlven, 1992; Simons, 1996).

Só daqui resulta desde logo o primeiro risco: a composição do cocktail gasoso disponível para a respiração dos seres humanos. Mas, não é o único!

Na camada seguinte – a estratosfera – que se estende entre os 18 e os 48km ocorrem reações químicas fundamentais para impedir que uma parte “indesejável” do espectro eletromagnético solar atinja a superfície da Terra. Uma boa parte da radiação ultravioleta é consumida nesta camada atmosférica no processo de cisão das moléculas de oxigénio (O_2) e a criação de ozono (O_3). Estas reações fotoquímicas que originam a ozonosfera impedem que esta banda do espectro eletromagnético solar exerça o seu enorme potencial de cisão molecular nos alvos existentes à superfície da Terra, nomeadamente, nos seres humanos.

As camadas seguintes – mesosfera (50 a 80km), termosfera (80 e 500km) e a exosfera (500 a 1000km) – são também indispensáveis para assegurar as condições de habitabilidade dos seres vivos na Terra. Desempenham papéis muito diversos, mas todos completamente determinantes para que a vida na Terra não fique em risco ((Henderson-Sellers, 1986; Houghton, 1986; McIlven, 1992; Simons, 1996).

Os riscos atmosféricos são, portanto, incontáveis, diversos e muito graves. A atmosfera pode ser simultaneamente uma proteção e uma ameaça muito séria. E, as circunstâncias necessárias que podem prenunciar o risco têm uma enorme proba-

bilidade de ocorrer. Todavia, apesar de deverem inspirar atenção e cuidado porque podem comprometer a segurança, a saúde, e o bem-estar das pessoas e dos outros seres vivos, é muito frequente focarmos a nossa atenção especialmente nos riscos estimulados por causas mais próximas, que observamos e compreendemos melhor – os climáticos e os geomorfológicos (fig. 1 e fig. 2).

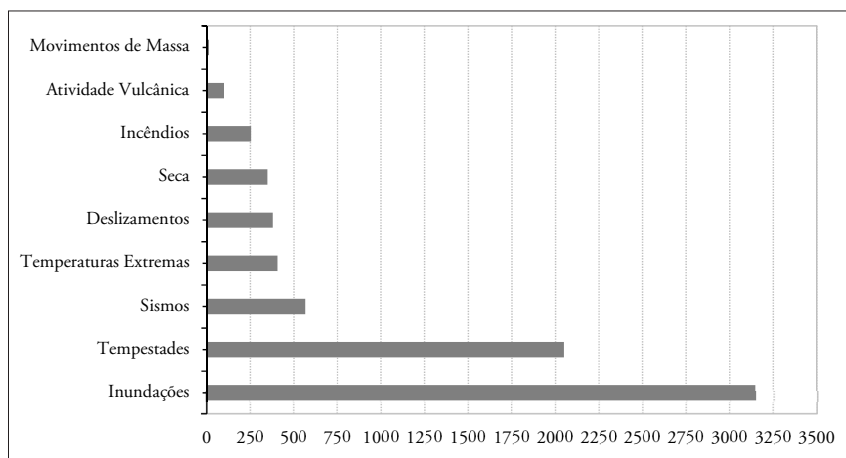


Fig. 1 - Número de desastres por tipo de causa (1998-2017) (Fonte: CRED, 2018).

Fig. 1 - Number of disasters per type of cause (1998-2017) (Source: CRED, 2018).

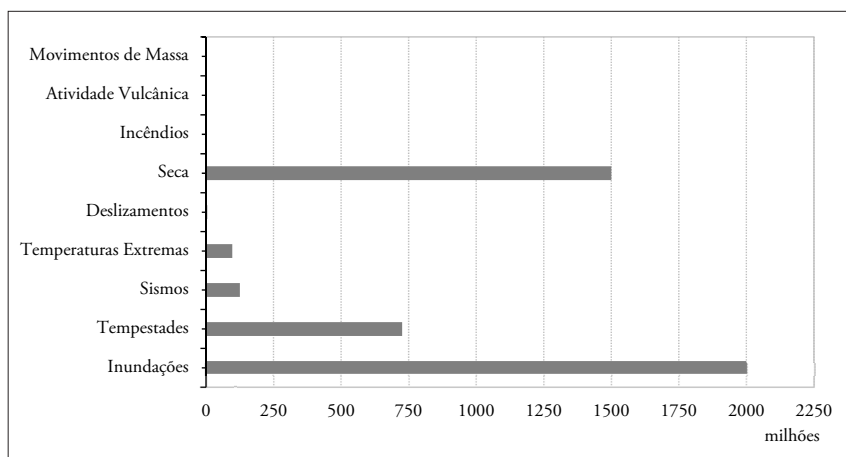


Fig. 2 - Número de pessoas afectadas por tipo de desastre (1998-2017) (Fonte: CRED, 2018).

Fig. 2 - Number of people affected per disaster type (1998-2017) (Source: CRED, 2018).

Tanto as pessoas como as instituições nacionais e internacionais que abordam as perdas e danos provocados pelos riscos atmosféricos dedicam a sua atenção quase exclusivamente aos de índole climática (fig. 1 e fig. 2) que, dentre os riscos naturais, representam mais de 80% das pessoas afectadas. As temperaturas extremas, as inundações, as secas, as tempestades e os incêndios têm sido os fenómenos mais e melhor monitorizados pela geocindínica. Os riscos decorrentes da queda de meteoritos, das conquistas espaciais, das alterações na estrutura térmica vertical da atmosfera ou mesmo da modificação da composição química da atmosfera não têm merecido o mesmo protagonismo nem por parte dos investigadores científicos nem por parte dos decisores políticos.

Risco de impacto de meteoritos

Uma das ameaças que temos sempre presente é que “o céu nos caia em cima”, isto é, que objetos provenientes da atmosfera ou do espaço extra-terrestre tombem sobre a superfície. É um receio permanente que por ser muito mal percebido tem sido desviado para a ficção científica e arrumado mentalmente como improvável.

Contudo, de acordo com a American Meteor Society (www.amsmeteors.org), os materiais que atingem a superfície provenientes do espaço extraterrestre são muito frequentes. Têm designações diferentes consoante as suas características, mas os mais comuns são os cometas, os asteroides, os meteoroides, os meteoros e as chuvas de meteoros, as bolas de fogo e os meteoritos (TABELA I).

Quando são de tamanho milimétrico passam totalmente despercebidos, mas quando ultrapassam 1km de diâmetro podem ter consequências devastadoras. Há até quem lhes atribua a responsabilidade pelo aparecimento de vida na Terra explicando que teria sido o impacto fortíssimo de um grande meteorito na superfície terrestre o factor desencadeador da criação das condições térmicas e químicas na atmosfera resultantes da pressão exercida sobre a crosta e o manto terrestre. Este impacto teria favorecido o aumento da temperatura e do vapor de água na atmosfera, condições essenciais para o aparecimento de vida (Chapman, 1994 e 2004; Chesley, 2002).

TABELA I - Tipos de Meteoros.

TABLE I - Meteor Types.

Tipos de Meteoros	Características	
	Composição	Tamanho
Cometas	Fragmentos sólidos de gelo, rocha poeira e gases	vários km
Asteróides	Fragmentos de ferro e/ou gelo	1m a centenas de km
Meteoroides	Asteróide muito pequeno	1 micra a 1m
Meteoros	Luz emitida por um meteoróide ou asteroide ao atravessar a atmosfera (chuva de meteoros)	
Bolas de Fogo	Luz muito brilhante emitida por um grande meteoróide ou asteroide ao atravessar a atmosfera	
Meteoritos	Fragmento de um meteoro ou de um asteroide	1m a 200km

Fonte/Source: American Meteor Society (www.amsmeteors.org).

Há também evidências científicas que associam o desaparecimento dos dinossauros à queda de um meteorito de grandes dimensões (> 15km de diâmetro), há cerca de 66 milhões de anos no Golfo do México criando uma cratera com mais de 180km e uma explosão equivalente a 100¹² toneladas de TNT (dinamite; trinitrotolueno).

Contudo e apesar de proliferarem eventos deste tipo na literatura e no cinema, a percepção do risco associado à queda de meteoritos é muito fraca. Apesar do receio, persiste a ideia da incapacidade de lidar com este risco e, consequentemente, o alheamento.

Todavia, os riscos associados à queda de meteoritos, apesar de não serem percebidos nem valorizados pela generalidade das pessoas, são, de acordo com a *Earth Impact Database* e com a *Earth Impact Effects Program*, muito graves, frequentes e bastante prováveis em qualquer ponto do globo (Chesley, 2002 e 2006). As estimativas atuais revelam que caem diariamente na superfície da Terra cerca de 49 toneladas de material meteorítico. Por esse motivo, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) no *Center for Near Earth Object Studies* (CNEOS), monitoriza continuamente os riscos dos impactos dos meteoritos nos próximos 100 anos (<https://cneos.jpl.nasa.gov/sentry/intro.html>).

A *American Meteor Society* tem contribuído para demonstrar a frequência e a perigosidade deste risco coligindo e divulgando os milhares de testemunhos de ocorrências destes diversos tipos de meteoros em todo o globo (https://fireball.amsmeteors.org/members/imo_view/browse_events). Mas, esta informação continua a ser muito

pouco reconhecida pela maioria da população o que dificulta substantivamente a percepção da gravidade deste risco. Isto, apesar das inúmeras evidências morfológicas na superfície da Terra deixadas pela queda, por exemplo, de grandes meteoritos (*Meteoritical Bulletin Database* em <https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>).

Em Portugal, este risco também não tem merecido grande relevância apesar do 40º maior objeto mais pesado de que há registo oficial ter caído em Portugal e de haver vários outros exemplos ameaçadores pelas dimensões e força do impacto (TABELA II).

TABELA II - Lista dos maiores meteoritos registados na literatura científica.

TABLE II - List of the largest meteors recorded in the literature.

Ranking (peso)	Local	Data de descoberta	Peso	Ranking (peso)	Local	Data de descoberta	Peso
1	Hoba (Namíbia)	1920	66 t	27	Holbrook (EUA)	1912	220 kg
2	Sikhote-Alin (Rússia)	1947	23 t	28	Kainsaz (Rússia)	1937	200 kg
3	Jilin (China)	1976	4 t	29	Kunashak (Rússia)	1949	200 kg
4	Allende (México)	1969	2 t	30	Lowell (EUA)	1846	200 kg
5	Kunya-Urgench (Turquemenistão)	1998	1.1 t	31	Saratov (Rússia)	1918	200 kg
6	Norton County (EUA)	1948	1.1 t	32	Zag (Sahara W)	1998	175 kg
7	Chelyabinsk (Rússia)	2013	1 t	33	Djati-Pengilon (Indonésia)	1884	166 kg
8	Jianshi (China)	1890	600 kg	34	Aba Panu (Nigéria)	2018	160 kg
9	Knyahinya (Ucrânia)	1866	500 kg	35	Tenham (Austrália)	1879	160 kg
10	Ochansk (Rússia)	1887	500 kg	36	Forest City (EUA)	1890	152 kg
11	Paragould (EUA)	1930	408 kg	37	Glasatovo (Rússia)	1918	152 kg
12	Bjurböle (Finlândia)	1899	330 kg	38	Yardmyly (Azerbaijão)	1959	150.2 kg
13	Millbillillie (Austrália)	1960	330 kg	39	Mbale (Uganda)	1992	150 kg
14	Sterlitamak (Rússia)	1990	325 kg	40	Oliveira (Portugal)	1924	150 kg
15	Estherville (EUA)	1879	320 kg	41	Weston (EUA)	1807	150 kg
16	Bruderheim (Canadá)	1960	303 kg	42	Wiluna (Austrália)	1967	150 kg
17	Mocs (Roménia)	1882	300 kg	43	Montferré (França)	1923	149 kg
18	Putinga (Brasil)	1937	300 kg	44	Molina (Espanha)	1858	144 kg
19	Saint-Séverin (França)	1966	271 kg	45	Kesen (Japão)	1850	135 kg
20	Suizhou (China)	1986	260 kg	46	Dong Ujimqin Qi (China)	1995	128.8 kg
21	Boguslavka (Rússia)	1916	256 kg	47	Ensisheim (França)	1492	127 kg
22	Omolon (Rússia)	1981	250 kg	(.....)	Ourique (Portugal)	1998	30kg
23	Pultusk (Polónia)	1868	250 kg	(.....)	Juromenha (Portugal)	1968	25, 25kg
24	Homestead (EUA)	1875	230 kg	(.....)	Chaves (Portugal)	1925	2,95kg
25	New Concord (EUA)	1860	230 kg	(.....)	Évora (Portugal)	1796	1,125kr
26	Alfanello (Itália)	1883	228 kg	(.....)	Picote (Portugal)	1843	1kg

Fonte/Source: The Meteoritical Bulletin Database (<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>).

A gravidade das consequências deste risco (TABELA III), resultam da combinação entre a violência do impacto, a energia provocada e a probabilidade de ocorrência e pode ser medida quer pela escala de Torino (https://cneos.jpl.nasa.gov/sentry/torino_scale.html, quer pela escala de Palermo (https://cneos.jpl.nasa.gov/sentry/palermo_scale.html).

TABELA III - Estimativas das consequências do impacto de um meteorito.
TABLE III - *Estimated consequences of a meteorite impact.*

Diâmetro no impacto (metros)	Massa ($\times 10^9$ kg)	Recorrência (anos)	Consequências
< 50	< 10	< 1	Meteoros que atingem o cimo da atmosfera, embora a maior parte da massa não atinja o solo, desintegrando-se em fragmentos que na sua maioria são vaporizados.
75	10 - 100	1000	Os ferrosos fazem crateras como a Meteor Crater (Arizona); os rochosos produzem rastos de fogo como Tunguska; os impactos sobre o solo podem destruir áreas do tamanho de uma cidade.
160	100 - 1000	5000	Os impactos no solo destroem a área de uma grande zona urbana como Nova Iorque ou Tóquio.
350	entre 1000 e 10,000	15	Impactos em terra destroem áreas do tamanho de uma província (Beira Alta); O impacto no mar produz <i>tsunamis</i> pequenos.
700	entre 10,000 e 100,000	63	O impacto em terra destrói áreas do tamanho de um país pequeno (Portugal); o impacto no oceano faz grandes <i>tsunamis</i> .
1,7	entre 100,000 e 1,000,000	250	O impacto em terra destrói áreas do tamanho de um país médio (França); o impacto no oceano faz <i>tsunamis</i> gigantescos. Pode provocar extinções maciças.

(Fonte/*Source*: Morrison, D., Chapman, C., Slovic, P. (1994). Hazards Due to Comets and Asteroids in Tom Grhrels (ed), Tuckson, University of Arizona Press).

Risco inerentes às conquistas espaciais

O interesse pelo espaço extraterrestre atraiu e continua a cativar a curiosidade dos seres humanos fomentando a criação de ferramentas para o visitar e conhecer.

O fascínio e o encantamento pela observação do céu emergiram nas artes, nas letras e nas ciências desde a civilização grega (séc. XII a.C.), passando por Galileu

Galilei (séc. XVI), Isaac Newton (séc. XVII), Júlio Verne (séc. XIX), Konstantin Tsiolkovsky (séc. XX) entre outros. Contudo, só em 1914 é que Robert Goddard protagonizou, com sucesso, a colocação de um instrumento no espaço: o lançamento do primeiro foguetão.

Entretanto, a exploração espacial só é realmente avivada bastante mais tarde pelos EUA e pela então URSS quando, durante a Guerra Fria (1945-1991), as duas superpotências compreenderam o interesse estratégico do conhecimento e do domínio do espaço extraterrestre e encetaram uma forte competição para o conquistar (TABELA IV).

A URSS iniciou o seu projecto de descoberta espacial em 1957. Os EUA começaram em 1958, data oficial de criação da *National Aeronautics and Space Act* (NASA) e a Europa só fundou bastante mais tarde, em 1975, a *Agência Espacial Europeia* (ESA).

O conhecimento do espaço foi concretizado com o lançamento de vários equipamentos tripulados e não tripulados, e esteve, desde sempre, estreitamente relacionado com a programação estratégica de segurança e defesa dos autores.

A exploração espacial tem servido direta e indirectamente para o progresso no conhecimento científico. Directamente, permitiu demonstrar que a Terra é redonda, que gira em tomo do seu eixo e do Sol e, por exemplo, redimensionar integralmente a importância do nosso planeta num Universo vasto e complexo. Indirectamente, a preparação das incursões espaciais tem motivado a pesquisa científica e a inovação nas mais diversas áreas do saber com benefícios relevantes para a sociedade em geral e para o ser humano em particular. Os sistemas GPS, as fibras de vidro, a imagiologia médica, a óptica, a indústria alimentar, a indústria têxtil, a criatividade física e mecânica, os equipamentos sem fios, a previsão do estado de tempo, etc. são apenas alguns dos muitos exemplos de melhorias na nossa qualidade de vida quotidiana que emergiram precisamente das pesquisas espaciais.

Contudo, a colocação em órbita de satélites tem vindo a aumentar exponencialmente à medida que se foram tornando fundamentais para diversas atividades económicas, sociais e políticas. O espaço extraterrestre passou, portanto, a ser um palco cada vez mais importante na geopolítica e na segurança e defesa global e, por isso mesmo, é supervisionado ininterruptamente e com grande atenção para prevenir ameaças.

TABELA IV - Alguns marcos importantes na conquista espacial.
TABLE IV - Some relevant facts in the history of the conquest of space.

Ano	Evento
1926	Robert Goddard lança, com sucesso, o primeiro foguetão de combustível líquido
1957	URSS lança o primeiro satélite artificial- Sputnik 1
1957	URSS põe em órbita o primeiro ser vivo: a cadela Laika que morreu com a destruição da nave ao reentrar na atmosfera
1958	EUA lançam seu primeiro satélite: Explorer 1
1958	Criação da National Aeronautics and Space Act (NASA)
1959	URSS coloca Luna 1 rumo à Lua
1959	URSS divulga no Luna 3 as primeiras imagens da face oculta da Lua
1961	O astronauta Yuri Gagarin é o primeiro ser humano em órbita na Vostok 1 (um voo de 1 hora e 48 minutos,)
1961	O astronauta norte-americano Alan Shepard é o primeiro americano em órbita (um voo de 15 minutos)
1962	EUA lançam a primeira sonda espacial para Vênus
1962	URSS lança a sua primeira nave rumo a Marte.
1963	URSS coloca a primeira mulher no espaço: Valentina Terechkova
1965	URSS coloca o primeiro ser humano a fazer uma caminhada espacial fora da nave: Alexis Leonov
1965	EUA concretiza o primeiro acoplamento no espaço entre duas naves americanas: Gemini
1967	Os 3 astronautas presentes no teste de lançamento da Apollo 1 morrem quando a nave se incendia em Cabo Canaveral
1967	A nave Soyuz-1 desintegra-se ao regressar do espaço com o astronauta Vladimir Komarov a bordo
1969	A Apollo 11 coloca o módulo Águia na Lua com os americanos Neil Armstrong e Edwin Aldrin enquanto Michael Collins permanece em órbita lunar na nave principal
1969	Neil Armstrong é o primeiro ser humano a caminhar na Lua
1973	EUA coloca em órbita a estação orbital americana Skylab
1975	Criada a Agência Espacial Europeia (ESA).
1975	As naves Apollo e Soyuz encontram-se no espaço
1979	A ESA lança o primeiro foguetão europeu: Ariane
1981	EUA lançam o Columbia
1986	A explosão, durante o lançamento, da nave espacial Challenger provoca a morte dos 7 astronautas a bordo
1986	URSS lança a primeira estação espacial de terceira geração: MIR
1990	A NASA coloca em órbita o primeiro telescópio espacial: Hubble
2000	A primeira estação espacial a reunir astronautas russos e americanos no espaço: ISS
2003	O foguetão europeu Ariane lança a sonda Smart-1 (propulsão iônica)
2003	A China concretiza um voo espacial tripulado: Shenzu V
2004	A sonda Spirit pousa em Marte e descarrega um robô
2005	A ESA concretiza a aterragem da sonda Huygens em Titã
2006	A NASA lança a sonda New Horizons rumo a Plutão
2007	O Japão concretiza o lançamento do seu primeiro foguetão rumo à Lua
2008	A sonda norte-americana Phoenix aterra no polo norte de Marte.
2009	EUA coloca a sonda Kepler com um observatório espacial em órbita solar da Terra
2011	EUA realizam a primeira órbita em Mercúrio
2014	A ESA concretiza a primeira aterragem planeada num cometa
2015	A NASA concretiza a primeira órbita no planeta Ceres
2015	A NASA concretiza a primeira órbita no planeta Pluto
2015	A NASA celebra a degustação do primeiro legume produzido no espaço
2019	A Agência Espacial Chinesa executa a primeira aterragem na face mais distante da Lua
2019	A Agência Espacial Chinesa cultiva sementes noutra corpo celestial

A enorme ambiguidade legal no que toca à regulação do uso do espaço extraterrestre tem facilitado a proliferação de equipamentos em circulação e aumentado substantivamente o número de materiais em órbita descontrolada. O número de peças resultantes da inativação de satélites em circulação atualmente no espaço ultrapassa já o meio milhão. E, a circulação veloz destes materiais tem aumentado o risco de colisão entre si e a probabilidade de ocorrência de quedas na superfície da Terra.

Assim, apesar do balanço destas incursões pelo espaço ser claramente positivo, o interesse pelo conhecimento do espaço extraterrestre, criou também vários riscos indesejáveis. A precipitação dos resíduos em circulação, as colisões entre material em órbita, a entrada no planeta de vírus, bactérias e outros elementos desconhecidos provenientes do espaço e transportados pelos tripulantes, pelas naves, pelos produtos agrícolas já cultivados fora da Terra e por outro material proveniente das expedições.

Risco de redução de espessura da camada de ozono

A concentração do ozono (O_3) na atmosfera tem vindo a ser alvo de monitorização há várias décadas porque é um sinal vital para a preservação da vida à superfície da Terra.

O ozono existe em concentrações muito baixas na troposfera, na mesosfera, na termosfera e na exosfera (0.00006%). Na estratosfera, entre os 20 e os 35km, a concentração de ozono aumenta substantivamente (0.0015%).

Na troposfera o aumento da concentração de ozono, causado sobretudo por emissões relacionadas com atividades antrópicas, é muito grave pela toxicidade que representa para a maioria dos seres vivos.

Na estratosfera, a concentração deste gás representa a eficácia de uma reação química que, consumindo uma boa parte da radiação solar ultravioleta (comprimentos de onda entre 0,23mm e 0,32mm), provoca a cisão dos dois átomos de oxigénio (O_2) e, posteriormente, a reunião de um átomo de oxigénio (O) com uma molécula de

oxigénio (O_2) criando o ozono (O_3). A absorção total da radiação ultravioleta UV-c e de uma parte considerável da UV-a e da UV-b na estratosfera para a produção de ozono, evita que esta radiação com grande potencial energético atinja a superfície terrestre provocando, por exemplo nos seres humanos, queimaduras, lesões cutâneas e oftálmicas. É precisamente por causa desta absorção de radiação solar ultravioleta que a temperatura aumenta com a altitude na estratosfera (IPCC, 2003).

Para além da variação natural da concentração do ozono na estratosfera explicadas por modificações químicas, dinâmicas ou pelo ciclo solar, há evidências científicas que apontam para uma coincidência cronológica entre o aumento de emissões de compostos de cloro (ex: CFC's) à superfície da terra e a diminuição de concentração de ozono. Os compostos de cloro resultantes da volatilização dos sais marinhos e de atividades industriais utilizadoras de combustíveis fósseis quando conseguem ascender até à estratosfera são ativados fotoquimicamente e têm a capacidade de destruir cataliticamente o ozono (Monteiro, 1989 e 1997).

A gravidade do risco associado à diminuição da concentração de ozono na estratosfera, vulgarmente designado por “buraco na camada de ozono”, motivou a criação de programas de monitorização permanente da concentração deste gás na atmosfera. A NASA (<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/SH.html>), a *Organização Meteorológica Mundial* (<https://public.wmo.int/en/media/news/scientific-assessment-confirms-start-of-recovery-of-ozone-layer>) disponibilizam informação bastante para acompanhar permanentemente a variação nas concentrações de ozono em qualquer parte do globo.

Os registos disponíveis começaram sobre a Antártida em 1957. Desde então verificou-se durante a década de 80 uma diminuição abrupta da concentração de ozono nesta área do globo atingindo valores particularmente preocupantes em outubro de 2004 (<200 Dobson Units). Em média no globo a espessura da camada de ozono tem uma espessura de 300 Dobson Units o que significa uma camada com cerca de 3mm de espessura. Este comportamento coincidiu com as maiores concentrações de cloro na estratosfera (Equivalent Effective Stratospheric Chlorine).

De acordo com a mais recente publicação da *Organização Meteorológica Mundial* sobre a monitorização da depleção da camada de ozono na estra-

tosfera (WMO, 2018, pg. ES26), não houve, entre 1997 e 2016, qualquer tendência estatisticamente significativa na concentração de ozono entre os 60°S e os 60°N.

As observações evidenciam pequenas variações positivas e negativas tanto na concentração global de ozono como especificamente na estratosfera. Parece até que em 2017 houve um aumento considerável da concentração de ozono na baixa estratosfera que compensou a diminuição registada entre 2000 e 2016 nas baixas e médias latitudes. Mas, o conhecimento neste domínio está ainda pulverizado de inúmeras incertezas e, por esse motivo, aplica-se com especial propriedade, o princípio da precaução. Tanto mais que para além do impacte directo nas características do espectro electromagnético solar que chega à superfície da Terra, a diminuição da camada de ozono estratosférico pode também interferir no comportamento do sistema climático do planeta modificando a estrutura térmica vertical da atmosfera, afectando a circulação dos fluxos de ar e das correntes oceânicas e provocando alterações expressivas no comportamento da temperatura, da precipitação, do vento, etc. à superfície.

Risco de agravamento do efeito de estufa

A opacidade da baixa atmosfera a uma parte substantiva da radiação infravermelha proveniente da irradiação terrestre, vulgarmente designada por “efeito de estufa”, permitindo que uma boa parte da energia fique retida na troposfera garantindo à superfície a manutenção de condições térmicas essenciais para a existência de vida.

Os gases responsáveis pela absorção da radiação infravermelha (comprimentos de onda entre 1mm e 30mm), na troposfera são sobretudo o vapor de água (H₂O), o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido de azoto (N₂O), o ozono (O₃) e os compostos de cloro (CFC's). Estes compostos gasosos no seu conjunto representam menos 1% da composição química da atmosfera onde predomina o azoto (78%) e o oxigénio (21%) que são absolutamente transparentes à radiação infravermelha.

Dentre os gases facilitadores do efeito de estufa, o vapor de água é o mais importante. Absorve cinco vezes mais radiação solar que todos os outros juntos.

O Potencial Aquecimento Global (GWP), isto é a quantidade de energia potencialmente absorvida por 1 ton de gás num período de tempo, de cada um destes gases promotores do efeito de estufa é muito diverso (TABELA V).

TABELA V - Potencial Aquecimento Global (GWP) dos gases promotores do efeito de estufa

TABLE V - Global Warming Potential (GWP) of greenhouse gases.

Gás	GWP	Tempo de residência na atmosfera
CO ₂	1	milhares de anos
CH ₄	28 a 36	1 década
N ₂ O	265 a 298	1 século
CFC's	1000 a 23000	2 séculos

(Fonte/Source: IPCC, 2013).

A concentração atmosférica de qualquer um destes gases aumentou consideravelmente nos últimos 250 anos com a intensificação da industrialização, da urbanização e da produção agro-pecuária.

Contudo, e apesar de ter o GWP mais baixo (TABELA V), o CO₂ tem sido considerado, desde a última metade do séc. XVIII, o principal responsável pela tendência positiva global da temperatura na superfície terrestre (IPCC, 2013). O argumento para esta explicação assenta sobretudo no paralelismo evidenciado entre os registos da temperatura e das emissões de CO₂ para a atmosfera resultantes das atividades antrópicas. O facto de ser dentre o conjunto de gases causadores do efeito de estufa, aquele que teve o maior aumento (> 40%) nos últimos 250 anos, o que está mais relacionado com a profunda modificação nas atividades humanas e o que tem um tempo de residência na atmosfera mais prolongado, contribuiu para lhe atribuir uma boa parte da responsabilidade na desorganização recente manifestada pelo sistema climático.

Uma vez que o peso relativo destes gases é muito baixo, os riscos associados à qualidade do ar vital para a sobrevivência dos seres humanos não são relevantes.

Os impactes negativos mais graves são sobretudo os que decorrem da modificação do balanço energético da baixa atmosfera e consequentemente dos contextos climáticos locais, regionais, zonais e globais.

Risco de poluição atmosférica

A definição de poluente atmosférico depende sobretudo da “dose” como dizia Paracelso médico e físico suíço do séc.XVI, para distinguir um remédio de um veneno.

A maioria dos poluentes são componentes naturais da atmosfera (Elsom, 1989, Douglas, 2013). Todavia, quando aumentam a sua concentração ou quando reagem quimicamente entre si, podem tornar-se poluentes (Monteiro, 2000). O carbono, o azoto, o enxofre, o ferro, o zinco, o cobre ou o chumbo existem na natureza de forma não tóxica nem poluente e são fundamentais para o equilíbrio do ecossistema. Há, porém, algumas substâncias artificiais, como os pesticidas, o diclorodifeniltricloroetano (DDT), os plásticos ou os detergentes, que são completamente estranhas na atmosfera e que por esse facto também são consideradas poluentes (EEA).

A gravidade dos riscos resultantes da poluição atmosférica depende da importância e do significado que lhe são atribuídos pela sociedade. A valorização dos riscos associados a um aumento na concentração de um composto gasoso atmosférico é fortemente condicionada pela magnitude das consequências diretas e imediatas e pelo contexto social, económico e político dos alvos (Monteiro, 1989, Monteiro, 2013a e b).

Existem vários critérios de classificação dos poluentes (Monteiro, 1989).

Holdgate (1980), por exemplo, releva no seu critério a natureza da substância, as propriedades, o tipo de alvo afectado, a fonte emissora e os padrões de uso desse elemento. Quanto à natureza discrimina a composição química (os orgânicos dos inorgânicos) e o estado físico (sólido, líquido e gasoso). Relativamente às propriedades distingue-os consoante as características de solubilidade, dispersão

e diluição, biodegradabilidade, persistência e predisposição para entrar em reações químicas. No que toca aos alvos afetados separa os que têm impactes na atmosfera, na água e no solo. Quanto à fonte emissora diferencia os que resultam da combustão (domésticos, industriais), da atividade agrícola, da atividade industrial, da atividade militar e de experiências microbiológicas. Relativamente aos padrões de uso distingue os industriais (matéria-prima, materiais de construção, solventes, refrigerantes, lubrificantes, detergentes, pesticidas, etc.), os domésticos e os agrícolas.

Crutzen (1987) salienta no seu critério de classificação dos poluentes as suas propriedades de interação com outros elementos presentes e cria 4 categorias: i) os que não reagem facilmente com outros elementos da atmosfera; ii) os que são solúveis na água; iii) os que reagem facilmente com outros elementos oxidando-se e criando elementos novos; iv) os que são propensos a deposição seca. Os primeiros têm tendência a disseminarem-se na troposfera podendo ser transportados para outras camadas da atmosfera podendo, por exemplo, modificar a absorção da radiação solar. Os segundos juntam-se facilmente à água presente na atmosfera modificando a sua composição química e podendo afectar todo o ciclo hidrológico. Os terceiros reagem com outros elementos e propiciam a criação de novos elementos com características hidrofílicas. Os quartos podem modificar as características dos solos, dos mosaicos de água ou de qualquer outro alvo existente à superfície.

Todavia, qualquer que seja o critério utilizado, fica claro que uma modificação na composição físico-química da atmosfera pode corporizar um risco direto para a saúde humana, para a sobrevivência da flora e da fauna, para a manutenção de infraestruturas e equipamentos e para o balanço energético do sistema climático.

A magnitude e a gravidade dos riscos dependem, porém do tempo de residência desse poluente na atmosfera, da sua capacidade de circulação na atmosfera e da maior ou menor facilidade com que é removido da atmosfera (TABELA VI).

Os compostos de enxofre, como por exemplo o dióxido de enxofre (SO₂), cujas fontes emissoras são maioritariamente de origem antrópica (TABELA VI), são exemplares para testemunhar a complexidade subjacente à avaliação dos riscos

TABELA VI - Fontes e processos de remoção de alguns gases considerados poluentes.

TABLE VI - Sources and removal processes of some pollutant gases.

Gás	Fonte Direta (g/ano)	Fonte Indireta (g/ano)	Removido por	Tempo de estadia na atmosfera	Distância do transporte E-W/S- N/ Taxa de mistura na troposfera *
CO	Combustão de biomassa ($4\text{-}16 \times 10^{14}$), Indústria ($6\text{-}4 \times 10^{14}$), Vegetação ($0\text{-}2\text{-}2 \times 10^{14}$)	Oxidação do CH_4 ($3\text{-}7\text{-}9\text{-}3 \times 10^{14}$) Oxidação do $\text{C}_3\text{H}_8\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ ($4\text{-}13 \times 10^{14}$)	OH (30×10^{14}) Removido pelo solo ($4\text{-}5 \times 10^{14}$)	2 meses	4000, 5000 50-200 p.p.b.v.
CH₄	Cultura de arroz ($0\text{-}3\text{-}0\text{-}6 \times 10^{14}$), Terras pantanosas ($0\text{-}3\text{-}2\text{-}2 \times 10^{14}$), Ruminantes ($0\text{-}6 \times 10^{14}$), Térmitas ¹⁴ ($<1\text{-}5 \times 10^{14}$) Combustão de biomassa ($0\text{-}3\text{-}1\text{-}1 \times 10^{14}$) Fugas de gás		OH (4×10^{14})	7 anos	Global 1.5-2.0 p.p.nw.
N₂O	Combustão de combustíveis fósseis ($1\text{-}8 \times 10^{12}$), Combustão de biomassa ($1\text{-}2 \times 10^{12}$), Oceanos e estuários ($1\text{-}2 \times 10^{12}$), Cultivo de solos naturais ($1\text{-}3 \times 10^{12}$), Fertilizantes ($<3 \times 10^{12}$)		Fotólise estratosférica ($6\text{-}1 \times 10^{12}$)	100 a 200 anos	Global 300 p.p.b.v.
SO₂	Combustão do carvão (64×10^{12}), Combustão do petróleo (26×10^{12}), Vulcanismo ($10\text{-}30 \times 10^{12}$)	Oxidação do H_2S e $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ ($40\text{-}100 \times 10^{12}$)	OH Precipitação	5 dias	5000, 700 10-200 p.p.vv.

p.p.m.v. = 10^{-6} ; p.p.b.v.= 10^{-9} ; p.p.t.v. = 10^{-12}

Fonte: Monteiro, 1989 modificado / Source: Monteiro, 1989 modified).

potenciais de um poluente. Neste caso em concreto, a facilidade de remoção da atmosfera, que aparentemente constituiria um processo de “limpeza da atmosfera” e, portanto, de diminuição dos riscos associados ao aumento da concentração do elemento, tornou-se a causa de amplificação dos impactes negativos designados de “chuvas ácidas”.

O incremento das emissões de enxofre proveniente da combustão do carvão e petróleo e a sua oxidação na atmosfera dá origem ao dióxido de enxofre (SO_2) e a uma série de outros compostos. O SO_2 pode oxidar-se na atmosfera e transformar-se dando origem, por exemplo, à deposição seca de aerossóis na superfície terrestre, contaminar os solos, as águas, a vegetação ou qualquer outro alvo presente. E, pode também ser absorvido pelas gotículas de água das nuvens e dar origem a ácido sulfúrico (H_2SO_4) e a trióxido de enxofre (2SO_3) alterando o pH da água que se virá a precipitar à superfície, isto é, acidificando a precipitação.

As chuvas ácidas ($\text{pH} < 5,5$) tanto provocadas pelo SO_2 como pelos óxidos de azoto (NO_x), são relatadas desde 1960 como constituindo um risco muito severo e, na maioria dos casos irreversível, para todos os tipos de alvos que atingem - seres humanos, solos, água, fauna, flora, infraestruturas, equipamentos, etc. – cuja causa é quase exclusivamente humana.

Conclusão

Em síntese, a atmosfera é um sistema muito complexo essencial para garantir os limiares de resistência da vida à superfície terrestre com equilíbrios instáveis cujas relações de causalidade estão ainda longe de serem totalmente compreendidas. A revisitação da história dos seres humanos na Terra é farta em exemplos de riscos atmosféricos com consequências determinantes. Apesar do extraordinário investimento no conhecimento científico sobretudo no último século, é um alvo ainda surpreendente. Algumas das ameaças são bem conhecidas e fazem parte das preocupações atuais nos programas de prevenção de riscos, mas outros nem tanto. A poluição atmosférica, o agravamento do efeito de estufa e a depleção da camada

de ozônio têm sido identificadas como ameaças severas e tanto os estímulos como as consequências têm sido descritos e bastante divulgados na sociedade. A importância da co-participação das atividades antrópicas na amplificação destes riscos é controversa, mas inequívoca. Por isso, eles podem ser erradicados ou pelo menos atenuados com modificações do comportamento dos seres humanos. Todavia, outros, como é o caso da queda de meteoritos ou das pesquisas espaciais, apesar de serem reconhecidos como graves, não são ainda suficientemente percebidos nem pela investigação científica nem pela sociedade e embora possam ser letais para a vida tal como a conhecemos atualmente, não fazem parte da maioria dos planos de prevenção e gestão de riscos.

Bibliografia

- AMERICAN METEOR SOCIETY (acedido em Abril de 2019 em <http://www.amsmeteors.org>)
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B. (1994). *At Risk, natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Routledge, London.
- CENTER FOR INTERNATIONAL EARTH SCIENCE INFORMATION NETWORK - CIESIN (2016) *Socio-economic Data and Applications Center* (SEDAC), Columbia University (acedido em Abril de 2019 em <http://dx.doi.org/10.7927/H4639MP>).
- CENTER FOR NEAR EARTH OBJECT STUDIES (CNEOS) *NEO Earth Close Approaches* (acedido em Abril de 2019 em <https://cneos.jpl.nasa.gov/sentry/intro.html>).
- Chapman, C., Morrison, D. (1994). Impacts on the Earth by asteroids and comets: assessing the hazard. *Nature*, 367, 33-39.
- Chapman, C. (2004). The hazard of near-Earth asteroid impacts on earth. *Earth Planet. Sci. Lett.* 222 (1), 1-15.
- Chesley, S., Chodas, P., Milani, A., Valsecchi, G., Yeomans, D. (2002). Quantifying the risk posed by potential Earth impacts. *Icarus* 159 (2), 423-432.
- Chesley, S., Ward, S. (2006). A quantitative assessment of the human and economic hazard from impact-generated tsunamis. *Nat. Hazards* 38, 355-374.
- CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS - CRED (2018). *Economic Losses, Poverty & Disasters 1998-2017*, Geneve.
- Crutzen, P., Graedel, T. (1986). *The role of atmospheric chemistry in environment-development interactions in Sustainable development of the biosphere*, IIAS, Laxenburg, Áustria, 213-251.
- Douglas, I. (2013). *Cities: an environmental history*, I.B. Tauris, London.
- Elsom, D. (1989). *Atmospheric Pollution*, Basil Blackwell, London.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (acedido em Abril de 2019 em https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/#c0=10&c12-operator=or&cb_start=0&c6=air+pollution).

- Henderson-Sellers, A., Robinson, P. (1986). *Contemporary Climatology*, Longman, London, 439 p.
- Houghton, D. (1985). *Handbook of Applied Meteorology*, Wiley, New York, 1461p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
- McIlven, R. (1992). *Fundamentals of weather and climate*, Chapman & Hall, London, 497p.
- Mileti, D. (1999). *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. Joseph Henry Press. Washington D.C.
- Monteiro, A. (1989). A composição química da atmosfera: contributo da climatologia para a implementação de uma política de desenvolvimento sustentado in Notas e Recensões, *Revista da Faculdade de Letras, Geografia*, I Série, vol. V, Universidade do Porto, 257–272.
- Monteiro, A. (1997). *O clima urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*, Textos Universitários de Ciências Sociais e Humanas, Fundação Calouste Gulbenkian, Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, Lisboa, 1997, 486 p.
- Monteiro, A., Madureira, H. (2000). *CLIAS – Exemplos de agravamento de algumas patologias do foro respiratório, relacionáveis com as modificações introduzidas pela urbanização portuense na conjuntura climática e na composição química da atmosfera*, F.C.T., PRAXIS XXI, PCSH /GEO/198/96, Porto, 2000, acedido em Abril de 2019 em <http://web.lettras.up.pt/anamt/CLIAS.htm>.
- Monteiro, A. et al. (2013). *Atlas da saúde e da doença – vulnerabilidades climáticas e socioeconómicas na Grande Área Metropolitana do Porto e Concelho do Porto* (Volume I). Portugal, Porto, 167 p.
- Monteiro, A., Sousa, C., Fonseca, L., Almeida, M. , Velho, S., & Carvalho, V. (2013). *Atlas da saúde e da doença – vulnerabilidades climáticas e socioeconómicas na Grande Área Metropolitana do Porto e Concelho do Porto* (Volume II). Portugal, Porto, 497 p.
- Morrison, D., Chapman, C., Slovic, P. (1994). *Hazards Due to Comets and Asteroids in Tom Grbrels* (ed), Tuckson, University of Arizona Press.
- NATURAL HAZARDS CENTER (acedido em Abril de 2019 em <https://hazards.colorado.edu>)
- Simons, P. (1996). *Weather*, Warner Books, London.
- The Meteoritical Bulletin Database (acedido em Abril de 2019 em <https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>)
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO (2019). *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018*, Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 58, 588 p., Geneve, Switzerland.
- WORLD ECONOMIC FORUM (2018). *The Global Risks Report 2018*, 13th Edition, Geneve, Switzerland.
- WORLD ECONOMIC FORUM (2019). *The Global Risks Report 2018*, 14th Edition, Geneve, Switzerland.

CONCLUSÃO

Adélia Nunes

Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras
CEGOT e RISCOS, Universidade de Coimbra, Portugal
ORCID: 0000-0003-3927-0748 adelia.nunes@ci.uc.pt

O contributo do ser humano, através das suas ações e atividades, constitui um elemento comum quando analisados os riscos mistos de componente ambiental, ampliando, de forma inequívoca, as suas causas e consequências. Acresce, por outro lado, os cenários futuros de mudanças climáticas, e a incerteza dos seus efeitos na amplificação dos riscos analisados.

Torna-se, por conseguinte, urgente e prioritário reduzir o risco através de esforços sistemáticos destinados a analisar e a gerir os fatores causadores deste tipo de catástrofes, assim como reconhecer a(s) vulnerabilidade(s), no intuito de proteger, de forma mais eficaz, as pessoas, as comunidades e os países, bem como os meios de subsistência, o património cultural e socioeconómico e os ecossistemas, incrementando, deste modo, a sua resiliência.

Assim, para alcançar tal desiderato, exige-se a implementação de medidas e ações integradas e o comprometimento de todos na salvaguarda dos recursos naturais. Neste contexto, emerge a necessidade de consciencialização da sociedade e das instituições sobre a complexidade destes fenómenos e das suas consequências, comprometedores do desenvolvimento social, económico, ambiental, cultural sustentável.

Torna-se, pois, necessário e urgente, neste contexto, integrar, na educação formal e na aprendizagem ao longo da vida, os conhecimentos, valores e habilidades necessárias para a redução do risco e para a promoção de modos de vida sustentáveis.

Embora os fatores de risco, aqui abordados, possam ser locais, nacionais, regionais ou globais, necessitam de ser compreendidos, para determinar as medidas de prevenção/redução a aplicar, requerendo novas formas de pensar e agir, mas também uma articulada cooperação e complementaridade entre os diferentes atores, nos planos local, nacional, regional e global, explorando as sinergias e interdependências entre as respetivas competências e estratégias. Na expectativa de que o presente livro sirva de inspiração a mais investigadores e decisores a participarem na

crescente avaliação e gestão dos riscos mistos, é também nosso desejo, através dos conteúdos aqui vertidos, facultar instrumentos metodológicos e pedagógicos que possam ser utilizados em atividades de investigação e educação, assim como promover competências pessoais, fundadoras de uma cidadania mais ativa, participada e informada, para uma prevenção e gestão mais eficaz dos riscos, e em simultâneo capazes de promover os valores e princípios da sustentabilidade.

Na expectativa de que o presente livro sirva de inspiração a mais investigadores e decisores a participarem na crescente avaliação e gestão dos riscos mistos, é também nosso desejo, através dos conteúdos aqui vertidos, facultar instrumentos metodológicos e pedagógicos que possam ser utilizados em atividades de investigação e educação, assim como promover competências pessoais, fundadoras de uma cidadania mais ativa, participada e informada, para uma prevenção e gestão mais eficaz dos riscos, e em simultâneo capazes de promover os valores e princípios da sustentabilidade.

SÉRIE
RISCOS E CATÁSTROFES

Títulos Publicados:

- 1 *Terramoto de Lisboa de 1755. O que aprendemos 260 anos depois?*
- 2 *Sociologia do Risco;*
- 3 *Geografia, paisagem e riscos;*
- 4 *Geografia, cultura e riscos;*
- 5 *Alcáçache. 30 anos depois;*
- 6 *Riscos e crises. Da teoria à plena manifestação;*
- 8 *Catástrofes antrópicas. Uma aproximação integral;*
- 9 *Catástrofes mistas. Uma perspectiva ambiental.*

Tomos em preparação:

- 7 *Catástrofes naturais. Uma abordagem global;*
- 10 *Riscos inerentes à rotura de barragens de acumulação de rejeitos de mineração;*
- 11 *Contributos da Ciência para a Redução do Risco;*
- 12 *Contributos da Educação para a Redução do Risco;*
- 13 *Contributos da Formação para a Redução do Risco.*

(Página deixada propositadamente em branco)

I
IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS
U

RISCOS
E C A T Á S T R O F E S

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA