



UNIVERSIDADE DE ÉVORA  
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

# Relatório de Unidade Curricular Clima e Alterações climáticas



Rui Paulo Vasco Salgado

Relatório apresentado à Universidade de Évora no âmbito das provas para a obtenção do título de Agregado em Ciências da Terra e do Espaço, especialidade Física da Atmosfera e do Clima

*Apresentado nos termos dispostos no Decreto-Lei n.º 293/2007, de 19 de Junho, Artigo 5.º, alínea b)*

Évora, Agosto de 2019

# Índice

1 Introdução.....	3
2 Ficha da Disciplina.....	5
Objectivos.....	5
Conteúdos programáticos.....	5
Metodologias de ensino.....	5
Bibliografia principal.....	5
3. Programa.....	6
4. Programação detalhada.....	8
1ª Semana: O Clima e o sistema climático.....	8
2ª Semana: Conclusão do Capítulo 1 + Classificações climáticas.....	10
3ª Semana: As leis da Radiação.....	11
4ª Semana O efeito de estufa da atmosfera e o balanço energético do Sistema Terra.....	12
5ª Semana: Elementos de Física da Atmosfera.....	13
6ª Semana: Nuvens e Precipitação.....	14
7ª Semana: Breves noções de dinâmica da atmosfera (e dos oceanos).....	15
8ª Semana: A circulação global da atmosfera.....	16
9ª Semana: As circulações Oceânicas.....	17
10ª Semana: Breve História do Clima.....	18
11ª Semana: Variabilidade Climática.....	19
12ª Semana: Alterações climáticas.....	20
13ª Semana: Modelos de clima.....	21
14ª Semana: O Clima do futuro.....	22
5. Bibliografia e outros materiais de apoio ao estudo.....	23
6. <i>Clima no dia a dia</i> .....	25

# 1 Introdução

A unidade curricular *Clima e Alterações Climáticas* (FIS11379L) integra actualmente o plano curricular do 2º semestre do curso de Ecologia e Ambiente (1º ciclo) da Universidade de Évora, sendo ainda oferecida como opção a outros cursos da Universidade. Integra também o plano curricular do curso de Ciências da Terra e da Atmosfera (1º ciclo), curso para o qual foi criada e que se encontra actualmente suspenso.

O Relatório e plano da disciplina que aqui apresento resultam da reflexão e da prática de alguns anos a leccionar temas de clima e alterações climáticas a estudantes com uma reduzida formação em física e em matemática. Tem sido um desafio o de ensinar conceitos físicos essenciais à compreensão de fenómenos complexos como o são os do clima e da sua evolução, procurando reduzir ao mínimo o número de equações, mantendo o rigor científico. O relatório respeita especificamente à unidade curricular de *Clima e Alterações Climáticas* (FIS11379L), mas muitos dos seus conteúdos, metodologias e materiais de apoio têm sido construídos e utilizados em outras unidades curriculares, nomeadamente de “Clima e Ambiente Atmosférico” do Mestrado interuniversitário em Gestão e Políticas Ambientais (FIS12139M, Universidade Nova de Lisboa, Universidade de Aveiro e Universidade de Évora), e de “Clima, Modelos do Clima e Alterações Climáticas” do Mestrado em Qualidade e Gestão do Ambiente da Universidade de Évora, bem como no curso de especialização em Clima e Alterações Climáticas oferecido em 2009 e 2010 pelo Departamento de Física.

Pretende-se com este curso que os estudantes adquiram uma visão global do estado actual dos conhecimentos, das metodologias e da discussão científica em torno do clima, das alterações climáticas e das projecções do clima futuro. Num período em que as questões climáticas estão na agenda e presentes nos debates sociais, económicos e políticos a nível de cada país e do mundo importa que técnicos, com formações diversas, que participam nestes debates e em tomadas de decisão a vários níveis, disponham de um mínimo de conhecimentos em clima que lhes permitam tomar decisões de forma mais informada. Neste sentido propõe-se que esta unidade curricular possa ser oferecida, eventualmente sob a forma de opção, a uma grande variedade de cursos, incluindo das áreas de ambiente, onde já o é, da geografia, da geologia, da biologia, da agronomia, da engenharia das energias renováveis, da sociologia, da economia, das ciências da educação ou numa eventual licenciatura em estudos gerais.

Aquando da criação do curso de Ecologia e Ambiente, procedeu-se a um ajustamento do número de ECTS das unidades curriculares, tendo a unidade de Clima e Alterações Climáticas ficado, do meu ponto de vista erradamente, com 3 ECTS a que corresponde uma carga horária de 2 horas semanais, uma teórica e outra teórico-prática, sendo aliás a excepção no plano curricular do curso de Ecologia e Ambiente. As “horas de contacto semestrais” são, a meu ver, insuficientes para um cabal cumprimento dos objectivos da aprendizagem e o número de ECTS é limitativo da frequência de estudantes de outros cursos, uma vez que a grande maioria das unidades curriculares são de 6 ECTS pelo que a selecção de uma unidade de 3 ECTS não é opção. Optei por fazer a programação da unidade curricular por semanas e não por aulas, de modo a incluir o que me parece mais correcto em cada capítulo do programa. Esta programação está pensada para que cada semana inclua duas aulas de duas horas e tem sido, na prática dos últimos anos, adaptada e encurtada para caber numa

única aula semanal de 120 minutos, com prejuízo particularmente do tempo dedicado à discussão com os alunos, à realização de experiências e resolução de problemas. Irei intervir no quadro dos órgãos da Universidade para que esta unidade curricular volte a ter as 4 horas semanais e passa para 6 ECTS e espero que este relatório também seja útil para esse fim.

No planificação da unidade curricular, socorri-me de vários livros, de materiais de cursos equivalentes, disponíveis via internet, bem como de outra informação disponível. Indico alguma desta informação aos alunos, quer na bibliografia geral, quer em cada capítulo. No sentido de apoiar o estudo dos estudantes, utilizo como texto de base, nos capítulos que exigem um pouco mais de matemática e física (particularmente os capítulos 3, 4, 5), o livro *Meteorologia e Ambiente* da autoria de Pedro Miranda que tem a vantagem de ser simples, rigoroso e estar escrito em português. Para além dos livros, existe hoje um enorme manancial de fontes de informação à disposição dos estudantes via internet. Durante o curso procuram indicar-se algumas páginas de internet onde os estudantes podem encontrar materiais pedagógicos, explicações científicas e dados e informação climática séria e acessível.

A Universidade de Évora e em particular o Instituto de Ciências da Terra dispõe de uma infraestrutura de observação única no país no domínio da física da atmosfera, proporcionando um contacto com a observação meteorológica e um acesso fácil e rápido a dados que procuro utilizar nas aulas, desde logo mostrando uma estação meteorológica, mas também proporcionando o contacto com equipamentos menos comuns e mais sofisticados. Em simultâneo o Departamento de Física dispõe de equipamento meteorológico tradicional e portátil que permite a realização de observações meteorológicas por parte dos estudantes.

O “mexer” em dados meteorológicos é importante para ganhar sensibilidade às variáveis climáticas e solidificar conhecimentos. Nesse sentido não só se procuram mostrar dados sempre que se discute algum fenómeno meteorológico ou climático e se dá acesso aos dados meteorológicos das estações do Instituto de Ciências da Terra, como é proposto aos alunos que calculem as normais climáticas para um determinado local com base numa série de dados de 30 anos.

Os fenómenos meteorológicos, o clima e as alterações climáticas, sendo tema de conversas informais, proporcionam debates que podem ser cientificamente orientados para os temas do curso, pelo que procuro incentivar o gosto dos estudantes por esta área científica, provocando discussões e tentando responder a questões que surgem no dia a dia. Este relatório inclui um parágrafo que designei por “*Clima no dia a dia*” sobre questões que tenho sistematizado para eu próprio estar atento e utilizar quando tal se proporciona. Assim, por exemplo, um dia de precipitação elevada é adequado para tratar ou voltar a discutir os mecanismos que provocam a precipitação, mostrar as cartas sinópticas respeitantes à situação em causa, voltando a falar de frentes, mostrar imagens satélite e de radar, bem como ir ao site do ICT verificar a precipitação que ocorreu nas últimas horas. Procuro utilizar este “*Clima no dia a dia*” como cábula para que tenha sempre um recurso para despertar a atenção dos alunos quando os sinto desatentos.

Como está inscrito nos objectivos da unidade curricular pretende-se que no final do semestre os estudantes entendam o fenómeno que conhecemos por efeito de estufa da atmosfera (tema em que se insiste), conheçam as principais características da circulação geral da atmosfera e dos oceanos e tenham uma visão global sobre o estado actual dos conhecimentos, das metodologias e da discussão científica em torno do clima, das alterações climáticas e das projecções do clima futuro.

## 2 Ficha da Disciplina

### Objectivos

Introduzir conceitos fundamentais em física do clima e das alterações climáticas: Radiação e efeito de estufa, o ar seco, o ar húmido e a precipitação, ventos e circulação geral da atmosfera e dos oceanos, forçamento radiativo, mecanismos de retroacção e sensibilidade climática. Analisar dados climáticos para caracterizar o clima e a sua evolução. Desenvolver o espírito crítico em torno das questões climáticas e incentivar a discussão cientificamente fundamentada em torno das alterações climáticas e o aquecimento global.

No final, os estudantes deverão compreender o efeito de estufa da atmosfera, conhecer as principais características da circulação geral da atmosfera e dos oceanos e terem uma visão global sobre o estado actual dos conhecimentos, das metodologias e da discussão científica em torno das alterações climáticas e das projecções do clima futuro.

### Conteúdos programáticos

O Clima e o sistema climático; Caracterização do clima e classificações climáticas; O clima de Portugal; O efeito de estufa da atmosfera e o balanço de energia na Terra; A atmosfera e elementos de termodinâmica do ar, saturação, condensação, formação de nuvens e precipitação; Os ventos e as correntes oceânicas, a circulação global da atmosfera e dos oceanos e os fenómenos de interacção Oceano-Atmosfera. Breve história do clima. O forçamento radiativo natural e antropogénico. Mecanismos de retroacção e sensibilidade climática. Alterações Climáticas recentes. Detecção de alterações climáticas e atribuição de causas. Introdução aos modelos de clima. Projecções climáticas: metodologias, cenários de emissões, projecções climáticas globais e regionais.

### Metodologias de ensino

Aulas teóricas com recurso frequente a projecção de apresentações. As apresentações bem como outro material de estudo é publicado no *moodle* da Universidade de Évora

Realização de trabalhos de análise de dados climáticos e de recolha bibliográfica relativa a tópico sobre as projecções climáticas para o futuro.

Resolução de exercícios nomeadamente sobre física da atmosfera e o efeito de estufa da atmosfera.

Realização/demonstração de experiências laboratoriais

Avaliação: Exame final e trabalhos individuais

### Bibliografia principal

Miranda, P. (2009). Meteorologia e Ambiente. 2ª edição, Universidade Aberta.

Hay, W. W. (2016). Experimenting on a Small Planet: A History of Scientific Discoveries, a Future of Climate Change and Global Warming, 2nd edn. New York: Springer, 819 pp

Dresser, A. (2012). Introduction to Modern Climate Change. New York: Cambridge University Press.

Taylor, F. W. (2010). Elementary Climate Physics. Oxford University Press

Houghton, J. (2009). Global Warming, 4ª edição, Cambridge University Press

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.

### 3. Programa

1. O Clima e o sistema climático
  - O Sistema climático e os seus subsistemas: Atmosfera, Hidrosfera, Criosfera, Biosfera, Litosfera
  - Clima e tempo atmosféricos
  - Elementos climáticos
  - Observações meteorológicas
    - Clássicas
    - Introdução a novas técnicas de observação
  - Normais climatológicas
2. Classificações climáticas
  - Índices climáticos
  - Tipos de classificação
  - Classificação de Köppen
  - O Clima de Portugal
3. O balanço radiativo na Terra e o efeito de estufa da atmosfera
  - O Sol e o Clima
  - Leis essenciais da radiação
  - A interacção entre a radiação e a atmosfera
  - A absorção da radiação solar na atmosfera e a camada de ozono
  - O efeito de estufa da atmosfera
  - Gases com efeito de estufa
4. Elementos de física da atmosfera
  - A composição da atmosfera
  - Equilíbrio hidrostático
  - Princípios da termodinâmica do ar seco
  - A estrutura vertical da atmosfera
  - O ar húmido
  - Utilização do diagrama de fases
  - Nuvens e aerossóis
5. A Circulação geral da Atmosfera e dos Oceanos
  - Modelos de circulação global da atmosfera
  - A força de Coriolis
  - A circulação global da atmosfera observada
  - Convergência e movimento vertical na Atmosfera

- Propriedades da água do mar e estrutura vertical dos Oceanos
  - A Circulação da camada superficial dos Oceanos
  - A Circulação oceânica profunda
  - Fenómenos de Interação Oceano - Atmosfera
    - El Niño
    - NAO
6. Breve História do Clima
- Técnicas utilizadas para estudar o clima do passado
  - O Clima dos últimos 650 mil anos
7. Variabilidade climática
- A actividade solar
  - Os ciclos de Milankovitch
  - Vulcões
  - A composição da atmosfera e o ciclo do Carbono
  - Variabilidade livre e variabilidade forçada.
  - Mecanismos de retroacção e sensibilidade climática
  - O forçamento radiativo
  - O forçamento radiativo natural e antropogénico nos últimos cem anos
8. Alterações Climáticas
- O que dizem as observações na Superfície, na Atmosfera e nos Oceanos
  - Detecção de alterações climáticas e atribuição de causas
9. Modelos do Sistema Terra
- Tipos de modelos climáticos
  - Modelos de Balanço de Energia
  - Modelos do Sistema Terra
10. O Clima no futuro
- Projecções climáticas: metodologia e etapas
  - Cenário de emissões e de concentrações
  - Projecções Climáticas para o século XXI

## **4. Programação detalhada**

### **1ª Semana: O Clima e o sistema climático**

#### ***Apresentação do docente e dos estudantes, do programa e da bibliografia, do método de ensino e de avaliação.***

- Pede-se a cada estudante que indique o seu percurso académico e motivação
- Discute-se e ajusta-se a avaliação e fixa-se o seu calendário
- Marca-se a aula semanal de dúvidas
- Chama-se a atenção para a necessidade de os estudantes acompanharem o moodle
- Faz-se notar que é uma disciplina da área da física pelo que se espera que os estudantes recordem ou aprendam algumas noções de física e algumas equações que as traduzem, para o que é importante que efectuem os exercícios que irão ser propostos
- Desafiam-se os alunos a definir clima e a dizer o que sabem sobre alterações climáticas.

#### ***Início do Capítulo 1: O Clima e o sistema climático,***

- Evidencia-se a complexidade do sistema Terra e do Clima
- Apresenta-se a noção de sistema e de sistemas abertos, fechados e isolados, sem os formalizar
- Detalham-se de forma sucinta os diferentes subsistemas Atmosfera, Hidrosfera, Criosfera, Biosfera, Litosfera, realçando as interações entre eles
- Introduce-se pela primeira vez a noção de re-alimentação (ou feedback) a que se irá voltar mais tarde
- Discute-se à com os estudantes a diferença entre clima e tempo (atmosférico) e entre meteorologia e clima.

#### **Elementos climáticos e observação meteorológica**

- Apresentam-se as principais grandezas utilizadas no estudo e caracterização do clima
- Discute-se as noções de temperatura, pressão, humidade, vento, precipitação e evaporação
- Indica-se as unidades em que se expressam estas grandezas, destacando as pertencentes ao Sistema Internacional
- Indica-se e discute-se valores típicos para as diferentes grandezas
- Apresentam-se e definem-se outros elementos climáticos menos evidentes como a nebulosidade, os nevoeiros, as trovoadas, a insolação
- Mostram-se exemplos de equipamentos clássicos de medição de grandezas meteorológicas: anemómetros e cata-ventos, termómetros, higrómetros, termo-higrómetros, barómetros e barógrafos.
- Mostram-se radiosondas e explica-se como são efectuadas observações em altitude
- Introduce-se novas técnicas de observação meteorológica, nomeadamente detecção remota por satélites e a partir da superfícies e radares meteorológicos
- Indica-se sítios da internet onde podem ser visualizada informação meteorológica referente a Portugal, em particular do ICT Évora e do IPMA. Mostram-se exemplos relativos ao dia da aula de imagens satélite e de radar.
- Aproveita-se a visita ao site do IPMA para mostrar cartas meteorológicas (pressão à superfície), introduzir a noção de sistemas de altas e baixas pressões e conversar sobre o estado actual da previsão do tempo

### **Visita ao observatório de física da atmosfera do Instituto de Ciências da Terra**

- Aproveita-se o facto de o observatório de física da atmosfera do Polo de Évora do Instituto de Ciências da Terra dispor de um conjunto pouco comum de instrumentos de observação para que os estudantes tenham contacto com novos equipamentos de observação da atmosfera, desde a estação meteorológica automática aos radiómetros ao LIDAR, ...
- Nesta visita pede-se apoio a colegas do Instituto que possam explicar mais em detalhe algum equipamento e para que é que serve.
- Aproveita-se para falar de observações subjectivas do estado do tempo
- Nesta visita ou noutro momento em que haja lançamento de um balão meteorológico convidam-se os alunos a assistir ao lançamento.



*Figura 1: Lançamento de balões meteorológicos com radiossondas. Observatório de Física da Atmosfera, Universidade de Évora, Colégio Luís António de Verney, Fevereiro de 2019. Participação dos Estudantes de Clima e Alterações Climáticas*

### **Proposta de trabalho experimental: Execução de observações sinópticas**

- Instala-se um abrigo meteorológico clássico junto ao Observatório de Física da Atmosfera do ICT
- É proposto aos estudantes que realizem observações meteorológicas durante um período de tempo e que as registem numa caderneta de observações sinópticas semelhante às utilizadas no IPMA
- Dependendo do número de estudantes estas observações podem ser realizadas durante um, três ou cinco dias. Faz-se uma tabela com a escala de modo a envolver de igual modo todos os estudantes nas observações.
- A caderneta é depois partilhada por todos os estudantes.
- Cada estudante deverá efectuar e entregar um relatório com a análise dos dados, que deverá incluir representação gráfica e comparação com observações e previsões meteorológicas

## 2ª Semana: Conclusão do Capítulo 1 + Classificações climáticas

### Normais Climáticas

- Definição de normal climática
- Elementos climáticos mais utilizados para caracterizar o clima
- Valores médios, extremos, variâncias e percentis
- Introduzem-se algumas definições, nomeadamente: ondas de calor e ondas de frio, dias quentes, muito quentes e extremamente quentes e noites tropicais, dias muito chuvosos.
- Mostrar dados, gráficos e mapas relativos às normais climatológicas de Portugal

### Início do trabalho “Normal climatológica”

- Fornecimento aos estudantes de um ficheiro (ascii) com os valores diários da temperatura máxima e mínima do ar e os valores da precipitação diária de uma estação da rede nacional do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (tem-se utilizado Évora) para um período de 30 anos (1 de Janeiro de 1971 e o dia 31 de Dezembro de 2000).
- Com base nesses dados os estudantes deverão calcular a normal climatológica para o período e estação considerados da temperatura média, mínima e máxima e precipitação.
- Os alunos devem apresentar os dados em tabela e graficamente, podendo inspirar-se nos gráficos disponíveis na página do IPMA: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>
- Os estudantes poderão trabalhar em grupo mas devem entregar um relatório individual, incluindo uma descrição sobre o que são as normais climáticas.
- Os alunos são incentivados a incluírem no seu estudo, normais menos utilizadas, como número de dias quentes, número de dias com precipitações elevadas, etc.
- O trabalho deve ser realizado durante 4 semanas, marca-se a data de entrega.
- O trabalho individual dos alunos será acompanhado nas aulas semanais de dúvidas.

## Capítulo 2

### Classificações climáticas

- Introduzem-se diferentes classificações, baseadas na temperatura média mensal, na amplitude térmica anual e precipitação anual
- Introduzem-se alguns índices frequentemente utilizados em clima, como o índice de aridez ou o PDSI (Palmer Drought Severity Index).
- Desenvolve-se a classificação climática de Köppen realçando a sua relação com a cobertura vegetal e a ecologia.
- Mostram-se mapas e exemplos respeitantes às 5 classes climáticas
- Indicam-se as zonas climáticas de Portugal
- Termina-se introduzindo a noção de que a distribuição das zonas climáticas está associada ao aquecimento diferencial do planeta e à circulação global da atmosfera e dos Oceanos

## 3ª Semana: As leis da Radiação

### Capítulo 3 (O efeito de estufa da atmosfera e o balanço de energia na Terra)

#### As leis da Radiação

- Faz-se notar que este é um capítulo essencial para se poder compreender a problemática das alterações climáticas e participar nos debates actuais de forma informada;
- Justifica-se a necessidade de introduzir conceitos e equações relativas à radiação electromagnética com base em que as trocas de energia entre a Terra e o Universo se dão essencialmente sob a forma radiativa.
- Define-se comprimento de onda, velocidade da luz, período e frequência
- Enuncia-se a lei de Plank salientando o facto da energia de um fóton ser proporcional à frequência
- Mostra-se e comenta-se o espectro electromagnético
- Introduz-se a noção de que todos os corpos irradiam e enunciam-se as leis de Stefan-Boltzman e de Wien relativa à emissão dos corpos negros.
- Introduz-se a noção de emissividade e absorvidade e enuncia-se a lei de Kirchoff
- Define-se a constante solar e discute-se a variação da radiação solar no topo da atmosfera em função da distância ao Sol
- A partir da noção de equilíbrio radiativo da Terra, define-se a Temperatura efectiva do planeta
- Discutem-se as formas de interacção da radiação com a atmosfera, introduzindo as noções de transmissão, reflexão e dispersão que se juntam às noções introduzidas anteriormente de emissão, absorção.
- Define-se o albedo
- Mostra-se uma sugestiva e interactiva aplicação Java sobre a interacção da radiação com os gases que compõem a atmosfera:

[https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_en.html)

#### Série de exercícios nº 1: As leis da Radiação

- A série será discutida e parcialmente resolvida em aula, ficando os estudantes de a concluir individualmente.

## 4ª Semana O efeito de estufa da atmosfera e o balanço energético do Sistema Terra

### Conclusão do Capítulo 3

#### O efeito de estufa da atmosfera

- Mostram-se as bandas de absorção dos gases atmosféricos e discute-se a transferência radiativa na atmosfera para a radiação solar e para a radiação de grande comprimento de onda
- Apresenta-se cuidadosamente o conceito de efeito de estufa da atmosfera
- Mostra-se uma segunda aplicação java, também interactiva, sobre o efeito de estufa: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/greenhouse>
- Chama-se à atenção para a diferença entre o efeito de estufa da atmosfera e o efeito de estufa numa estufa.
- Compara-se o efeito de estufa na Terra com o que acontece em Vénus e Marte. Faz-se notar o carácter *descontrolado* do efeito de estufa em Vénus (*runaway greenhouse effect*, em inglês é mais sugestivo)
- Resolvem-se em conjunto exercícios em que se calcula o efeito de estufa considerando diferentes simplificações para a atmosfera. Procura-se que o maior número de estudantes participe activamente na resolução, insistindo-se no desenho do diagrama de fluxos de radiação apropriado a cada simplificação considerada.

#### Série de exercícios nº 2: O efeito de estufa da atmosfera

- A série já iniciada na aula, é fornecida para que os estudantes a continuem a resolver individualmente

#### O balanço energético do Sistema Terra

- Mostra-se graficamente e quantitativamente o Balanço radiativo global, chamando a atenção que não existe equilíbrio radiativo à superfície
- Introduzem-se as noções de fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente
- Mostra-se graficamente e quantitativamente o Balanço energético global, chamando à atenção para a importância relativa do fluxo de calor sensível e portanto da ligação entre os ciclos globais da água e da energia
- Faz-se notar que o balanço energético, descrito anteriormente não se verifica localmente, introduzindo a noção do aquecimento diferencial da superfície da Terra e a necessidade de ter em conta os transportes meridionais de energia e portanto as circulações atmosféricas e oceânicas, objecto de capítulo 5

## 5ª Semana: Elementos de Física da Atmosfera

### Capítulo 3 (Elementos de Física da Atmosfera)

#### A Atmosfera e introdução à termodinâmica do ar seco

- Indica-se a composição média da atmosfera nos primeiros 80 km, chamando-se a atenção para a variação do vapor de água e do dióxido de Carbono
- Apresenta-se a estrutura vertical da atmosfera, e a sua divisão em camadas em função da composição, perfil térmico e comportamento radiativo; Detalha-se e comparam-se a troposfera e a estratosfera, introduzindo pela primeira vez a noção de estabilidade da atmosfera; caso se tenham efectuado radiossondagens com a participação dos alunos, mostram perfis reais.
- Inicia-se uma introdução à termodinâmica com a indicação das principais variáveis
- Faz-se uma simples experiência na aula para mostrar a existência da pressão do ar (do livro Nuvens numa caneca de cerveja)
- Demonstra-se o equilíbrio hidrostático
- Recorda-se, ou introduz-se, a equação de estado dos gases ideais, indicando que o ar se comporta, em boa aproximação, como um gás ideal.
- Com base nas duas equações anteriores, mostra-se que a pressão diminui exponencialmente com a altitude (numa atmosfera isotérmica) e explica-se a como se pode medir a altitude com barómetros
- Apresenta-se a equação de conservação da energia (1ª lei da termodinâmica) na sua forma mais simples, em que  $W = -p\Delta V$  e  $Q = -CDT$ . Discutem-se as noções de energia, trabalho e calor e a diferença entre calor e temperatura. Introduzem-se as noções de processos diabáticos e adiabáticos
- Discute-se com base na conservação de energia a noção de expansão e arrefecimento adiabático do ar seco e introduz-se a noção do gradiente vertical adiabático do ar seco
- A última noção é aplicada à discussão da estabilidade atmosférica e da sua importância nos movimentos verticais da atmosfera e na dispersão de poluente.

#### Série de exercícios 3: Termodinâmica do ar seco

##### A humidade na atmosfera

- Apresentam-se as características do vapor de água e do ar húmido
- Enumeram-se e discutem-se as variáveis que se utilizam para caracterizar a humidade da atmosfera; dá-se particular importância à noção de pressão de vapor e da tensão de equilíbrio/saturação
- Relembra-se ou introduz-se a noção de transição de fase
- Mostra-se e ensina-se a utilizar o diagrama de fases para a água.
- Fala-se em arrefecimento / aquecimento a pressão constante (introduz-se o termo isobárico)
- Compara-se a ascensão vertical de ar húmido com a do ar seco, introduzindo a noção de gradiente vertical (pseudo)adiabático do ar saturado.

## 6ª Semana: Nuvens e Precipitação

### Série de exercícios nº4: Termodinâmica do ar húmido, utilizando o diagrama de fases e trabalho laboratorial: medição da humidade do ar

- Série de problemas para resolver com utilização do diagrama de fases da substância água.
- Medição da humidade relativa do ar utilizando o higrómetro de Daniel e o psicrómetro; a utilização do higrómetro é particularmente interessante pois permite observar os fenómenos de evaporação e arrefecimento por transição de fase;
- Aproveita-se para mostrar e discutir o funcionamento dos “pássaro bebedor”

### Nuvens e Precipitação

- Discutem-se os processos de arrefecimento e saturação, salientando a importância do movimento vertical ascendente.
- Discute-se o processo da condensação do vapor e a importância dos aerossóis para a sua eficiência
- Efectuar experiências simples de demonstração utilizando garrafas de cerveja (inspirado em Craigh, 1996)
- Apresentam-se os mecanismos para o crescimento das gotas: difusão, colisão coalescência e processo de Bergeron
- Indicam-se as condições necessárias para se iniciar a precipitação
- No final aproveita-se para ir observar as nuvens, discutindo o que se está a ver (esta actividade poderá ser feita em outro dia em função das condições atmosféricas.

## **7ª Semana: Breves noções de dinâmica da atmosfera (e dos oceanos)**

### **Capítulo 5: A Circulação geral da Atmosfera e dos Oceanos**

#### **Breves noções de dinâmica da atmosfera (e dos oceanos)**

- Discute-se com os estudantes o que está na origem das circulações e as forças que actuam numa parcela de ar.
- Recorda-se a 2ª lei de Newton e indicam-se, de forma simplificada quais as forças em presença
- Lembra-se que a terra tem um movimento de rotação e que portanto não é um referencial inercial e introduz-se a noção de força de coriolis
- Mostra-se um vídeo ilustrativo dos efeitos da força de coriolis...
- Introduz-se a noção de vento geostrófico com base no equilíbrio entre a força de coriolis e a força do gradiente de pressão e relaciona-se o campo do vento com o da pressão. Faz-se uma descrição essencialmente qualitativa. Procura-se que os alunos compreendam que numa primeira aproximação o vento sopra paralelo às isóbaras e tanto mais intenso quanto menor for o espaçamento entre estas.

#### **Série de exercícios nº5 : Vento e Pressão**

- Mostram-se cartas de pressão, procurando que os estudantes representem a direcção e intensidade relativa do vento

#### **Trabalho Nº 2: O Clima no futuro – Apresentação do trabalho**

- É proposto a todos os alunos que pesquisem um tema ligado às projecções do clima no futuro, que produzam uma apresentação de slides a apresentar na última semana.
- Os temas são baseados em parágrafos do último relatório científico do IPCC (actualmente o 5º) – ver semana 14
- Nesta primeira aula procede-se à enunciação dos objectivos e indicação dos temas dos trabalhos

## **8ª Semana: A circulação global da atmosfera**

### **A circulação global da atmosfera**

- Apresenta-se e discute-se o modelo unicelular da circulação global da atmosfera com base no aquecimento diferencial da superfície da Terra.
- Apresenta-se e discute-se o modelo tricelular da circulação global da atmosfera. Introduzem-se termos como Zona Intertropical de Convergência e frente polar, ventos alíseos, corrente geral de Oeste, células de Hadley, de Ferrel e polar, correntes de jacto, altas pressões subtropicais e latitudes do cavalo.
- Mostram-se e analisam-se mapas com a circulação média observada em Janeiro e Julho.
- Relacionam-se as circulações atmosféricas com o transporte meridional de energia.
- Introduz-se a noção (qualitativa) de convergência e divergência e como estas se relacionam com o movimento vertical; discute-se a estrutura tridimensional das depressões e dos anticiclones, explicando-se a que estados do tempo estão associados.
- Introduz-se a noção de massas de ar e de frente atmosférica, explicando porque há movimento vertical numa frente.
- Introduzem-se as noções de brisa e de monção.
- Mostram-se cartas de pressão à superfície, análises e previsão, aproveitando para discutir o tempo nos próximos dias

### **Trabalho Nº 2: O Clima no futuro: Selecção dos temas**

- Nesta semana procede-se à selecção dos temas pelos estudantes

## 9ª Semana: As circulações Oceânicas

### Continuação do Capítulo 5

#### As circulações Oceânicas

- Indicam-se algumas propriedades da água do mar e do gelo marinho; define-se salinidade e discute-se a sua importância.
- Mostra-se que a variação do nível médio do mar resulta da variação da densidade com a temperatura e da quantidade total de água do mar; chama-se à atenção que o conta é o quantidade de gelo sobre os continentes e que o degelo do gelo marinho tem um impacto desprezável no aumento do nível da água do mar,
- Apresenta-se a estrutura vertical dos oceanos (temperatura e salinidade), fazendo notar que se pode dividir em duas camadas, com pouca interação entre elas.
- Discute-se a diferença entre a estrutura vertical dos oceanos e da troposfera, salientando o facto de a convecção profunda estar inibida na maior parte dos oceanos.
- Analisam-se mapas do campo superficial da temperatura e da salinidade nos Oceanos
- Relaciona-se o vento com as correntes na camada superficial dos oceanos, concluindo graficamente que a corrente à superfície faz um ângulo de 45° com o vento.
- Introduz-se a noção de camada de Ekamn, concluindo que o transporte de massa na camada superficial é perpendicular ao vento à superfície.
- Introduz-se e discute-se o fenómeno de *upwelling*, indicando a importância que tem do ponto de vista da fauna marinha
- Apresentam-se e analisam-se mapas com a circulação global da camada superficial dos Oceanos.
- Indicam-se os mecanismos que induzem movimento vertical profundo nos Oceanos, descreve-se a circulação termohalina do Oceano profundo e discute-se a sua importância para o clima.
- Introduz-se o nível médio do mar

#### Interação Oceano - Atmosfera

- Introduz-se a importância dos fenómenos de interação Oceano-Atmosfera na previsibilidade do tempo e no clima. Dão-se dois exemplos:
  - El Niño
  - NAO
- No caso do El Niño mostram-se 3 animações do CPTEC/INPE (<http://enos.cptec.inpe.br/animacao/pt>) e discute-se o impacto climático das situações de El Niño e la Niña

# 10ª Semana: Breve História do Clima

## Capítulo 6: Breve História do Clima

- Apresentam-se algumas técnicas e metodologias utilizadas para estudar o clima do passado:
  - Instrumentais, discutindo a sua evolução e as suas limitações
  - Registo históricos, indicando alguns exemplos como a história da Gronelândia, as cheias do Nilo ou a evolução do gelo no Tamisa
  - Paleoclimáticas, procurando evidenciar a enorme panóplia de técnicas utilizadas actualmente, destacando as baseadas na análise das proporções de isótopos estáveis de oxigénio, carbono, hidrogénio e azoto em amostras de ar aprisionadas no gelo antártico ou em fósseis dos fundos dos oceanos
  - Geotérmicas, com base na medição de temperatura a várias profundidades, aproveitando para discutir a condução de calor no solo
- Apresenta-se e discute-se a História do Clima nos últimos 600 milhões de anos, mostrando a alternância de períodos quentes (greenhouse), incluindo os tórridos (Hothouse), e os glaciares (icehouse), incluindo os períodos em que a Terra terá estado completamente gelada (Snowball Earth); Mostra-se a existência de uma ligação entre a actividade vulcânica e o nível médio do mar; Refere-se que nos períodos em que a Terra esteve livre de Glaciares a atmosfera tinha um elevado conteúdo em CO<sub>2</sub>; Indica-se que o actual período com glaciação nos pólos terá tido início há 5 milhões de anos
- Apresenta-se e discute-se a História do Clima nos últimos 800 mil anos, salientando a alternância de períodos glaciares com os interglaciares; mostra-se que há uma correlação entre a evolução da temperatura média global e a evolução da concentração de gases de efeito: refere-se que o último glaciar teve o seu auge há cerca de 24 mil anos e que o actual período interglaciar teve o seu início há cerca de 11 mil anos.
- Apresenta-se e discute-se a evolução do clima nos últimos 1500 anos, identificando o óptimo climático e a pequena idade do gelo; Chama-se a atenção para a evolução recente que irá ser analisada e discutida mais tarde.

# 11ª Semana: Variabilidade Climática

## Capítulo 7: Variabilidade Climática e suas causas

- Discutem-se as causas para a variabilidade climática.
- Introduzem-se as noções de variações forçadas (de origem externa) e livres (de origem interna) e torna a discutir-se a noção de retroacção.
- Discute-se a evolução da actividade solar a longo e a curto prazo, explicando a relação com as manchas solares; indica-se a existência de um ciclo de 11 anos e quantifica-se a sua amplitude.
- Apresentam-se os parâmetros orbitais e os seus ciclos (teoria de Milancovitch) e discute-se a influência da sua variabilidade na variação só clima, chamando a atenção para o facto de o clima global, na escala milenar, ser particularmente sensível ao impacto das variações da orbita da Terra na variação da radiação solar no Hemisfério Norte.
- Discute-se a importância dos vulcões no clima e mostra-se o impacto de actividade vulcânica recente.
- Relembra-se a composição da atmosfera e quais os gases de efeito de estufa
- Apresentam-se e discutem-se aspectos essenciais do ciclo do carbono, incluindo as transferências Atmosfera-biosfera, Atmosfera-Oceanos e Atmosfera-Litosfera.
- Indicam-se outros possíveis forçamento naturais do clima: Deriva dos continentes e radiação cósmica.
- Enquadra-se o fenómeno do el-niño no quadro da variabilidade interna do sistema e mostra-se o efeito na temperatura média global.
- Discutem-se os seguintes forçamentos de origem antropogénica: emissão de gases de efeito de estufa e de aerossóis, alteração do uso dos solos, incluindo desflorestação, irrigação e urbanização.
- Introduz-se a noção de forçamento radiativo, seguindo-se a definição do IPCC (2007), salientando a sua importância para se poderem comparar diferentes forçamentos, naturais e antropogénicos.
- Discutem-se vários fenómenos de retroacção, mostrando exemplos de retroacção negativa e de retroacção positiva; Chama-se à atenção que no sistema Terra existem importantes fenómenos de retroacção positiva, destacando a retroacção gelo-albedo; Procura envolver-se todos os estudantes na discussão.
- Introduz-se e discute-se a noção de sensibilidade climática e avançam-se com valores realistas.

## 12ª Semana: Alterações climáticas

### Capítulo 8: Alterações climáticas recentes

- Por recente entende-se desde o início da revolução industrial
- Utiliza-se como base o relatório científico AR5 do IPCC 2013, de modo que uma parte das figuras mostradas nas aulas são deste relatório; em alguns casos mostram-se dados mais recentes.
- Discute-se a evolução da temperatura do ar junto à superfície com base nos dados, gráficos e mapas do AR5 do IPCC e da página web da NOAA (<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/>), procurando suscitar o interesse dos estudantes pelo acompanhamento regular da evolução da temperatura média global;
- Compara-se a evolução observada da temperatura na Troposfera e na Estratosfera
- Mostram-se mapas com os dados conhecidos sobre a evolução do vapor de água na atmosfera, na precipitação e nos índices de seca ao longo do planeta.
- Mostra-se a evolução do nível médio do mar observada ao longo dos últimos 100 anos e discutem-se as causas para esta evolução.
- Mostram-se resultados relativos à evolução do coberto de neve, do gelo sobre a Gronelândia e a Antártica e do gelo marinho, em particular no Ártico
- Mostram-se e discutem-se outros possíveis indicadores de alterações climáticas, como a evolução da intensidade dos ciclones tropicais, das ondas de calor e dos eventos de precipitação intensa
- Diferencia-se detecção de uma alteração climática e atribuição de causas e discute-se o que é necessário e as dificuldades relativas a cada uma das tarefas.
- Mostra-se a evolução dos gases de efeito de estufa e do seu forçamento radiativo
- Comparam-se os forçamentos radiativos antropogénicos e naturais desde o início da revolução industrial
- Mostra-se o argumento principal para a conclusão, do IPCC, de que é inequívoco que o clima da Terra está em mudança devido à alteração da composição da atmosfera provocada pela actividade humana.

### Série de exercícios nº6: Tendências climáticas

- Esta série consiste essencialmente em baixar dados da NOAA em (<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/>), fazer gráficos e calcular tendências da evolução da temperatura média.

## 13ª Semana: Modelos de clima

### Capítulo 9: Modelos de clima

- Discute-se a predictabilidade do clima e compara-se com a predictabilidade meteorológica.
- Apresentam-se os cenários futuros de emissões de gases de efeito de estufa que são considerados pela maioria dos estudos sobre o clima do futuro e aproveita-se para debater os factores demográficos, económicos, sociais e políticos que lhes estão subjacentes.
- Introduzem-se os modelos de ciclo de carbono que permitem estimar a composição química da atmosfera a partir dos cenários de emissão apresentados anteriormente.
- Descrevem-se os tipos de modelos de clima actualmente utilizados.
- Detalha-se um modelo de balanço de energia a 1D que será posteriormente utilizado.
- Descreve-se a actual geração dos Modelos do Sistema Terra, indicando as suas principais componentes e os fenómenos que procuram representar de forma explícita ou parametrizada, salientando a sua complexidade; Faz-se notar que são modelos físico-químico-biológico-matemáticos, cujas equações são discretizadas e resolvidas numa grelha tridimensional global; Indica-se a resolução espacial e temporal actualmente possível e discutem-se estratégias de simulação.
- Indica-se como se procede à validação dos modelos e como se obtêm projecções do clima no futuro
- Indica-se o que são e para que servem os modelos climáticos regionais.

### **Série de exercícios nº7: Modelo de balanço de energia uni-dimensional (EBM)**

- Utiliza-se o modelo 1D (latitude) de balanço de energia descrito em “*A Climate Modelling Primer*” (McGuffie e Sellers, 2009) para estimar a distribuição latitudinal de temperatura em função da radiação solar no topo da atmosfera, da distribuição inicial de temperaturas e cobertura de gelo e do albedo.
- O modelo pode ser codificado pelos estudantes ou pode ser fornecido numa versão excel (McGuffie e Sellers, 2009)
- É um modelo simples que ajuda à compreensão da importância da retroação gelo-albedo no clima.

## 14ª Semana: O Clima do futuro

### Capítulo 10: O Clima no futuro

- O conteúdo deste capítulo vai ser discutido tendo por base as apresentações efectuadas pelos estudantes que apresentaram cada um dos temas propostos
- A apresentação será debatida em conjunto por estudantes e professor
- A título de exemplo, indica-se na caixa em baixo, a lista de trabalhos propostos no ano lectivo 2018/2019

#### Clima e Alterações Climáticas

Temas para trabalhos a apresentar na última semana do semestre

Tema	Referência de partida
1 - Cenários do forçamento radiativo no futuro	IPCC AR5, RT 5.4 pág. 89 - 81
2 - Sensibilidade climática e retro-ações	IPCC AR5, RT 5.4 pág. 82 - 85
3 - Alterações Climáticas a Curto Prazo	IPCC AR5, RT 5.4 pág. 85 - 89
4 - Alterações Climáticas a Longo Prazo	IPCC AR5, RT 5.5 pág. 89 - 93
5 - Projecções a Longo Prazo do Ciclo do Carbono e de Outros Ciclos Biogeoquímicos	IPCC AR5, RT 5.6 pág. 93 - 98
6 - Projecções da Alteração do Nível do Mar a Longo Prazo	IPCC AR5, RT 5.7 pág. 98 - 105
7 - Fenómenos Climáticos e Alterações Climáticas Regionais	IPCC AR5, RT 5.8 pág. 105-108
8 - Alterações nos Eventos Climáticos Extremos	IPCC AR5, RT 5.8 pág. 109-113
9 - Principais incertezas no estudo das alterações climáticas	IPCC AR5, RT6 pág. 115-116

- Cada estudante apresenta um dos temas, utilizando como base o último Relatório Técnico do IPCC sobre Alterações climáticas (2013). Cada trabalho deverá ser apresentado durante um máximo de 15 minutos, utilizando uma apresentação em powerpoint (ou equivalente) com cerca de 10 diapositivos.
- O Relatório Técnico pode ser encontrado no site do IPCC, seguindo o apontador indicado no moodle.

## 5. Bibliografia e outros materiais de apoio ao estudo

### Bibliografia

**Miranda, P. (2009). Meteorologia e Ambiente. 2ª edição, Universidade Aberta.**

*Este é o livro que é utilizado como texto base para os capítulos 1 a 5 e que utilizo também em outros. Escrito de forma rigorosa e simples é acessível a estudantes com reduzida formação em física e matemática. Ainda assim, a formulação matemática é mais avançada do que a exigida nesta unidade curricular.*

#### **Livros de José Pinto Peixoto**

Peixoto, J.P. (1987). **O sistema climático e as bases físicas do clima.** Edição da Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais.

Peixoto, J.P. (1987). **As variações do clima e o ambiente.** Edição da Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais.

Peixoto, J.P. (1987). **A Influência do Homem no clima e no ambiente.** Edição da Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais.

Peixoto, J.P. (1987). **A Radiação Solar e o ambiente.** Edição da Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais.

*Estes livros escritos em português por um grande cientista português do século 20 continuam a ser muito interessantes e úteis no ensino e aprendizagem das noções de clima. O livro relativo à influência do Homem no clima e no ambiente está evidentemente datado.*

**Hay, W. W. (2016). Experimenting on a Small Planet: A History of Scientific Discoveries, a Future of Climate Change and Global Warming, 2nd edn. New York: Springer, 819 pp**

*É um livro muito extenso e muito autobiográfico. Contém no entanto formulações, descrições e discussões muito interessantes, nomeadamente em relação à história do clima. Utilizo nas apresentações alguns materiais do seu livro, indicando a fonte e sugerindo aos alunos a sua consulta e aprofundamento dos conhecimentos.*

**Dresser, A. (2012). Introduction to Modern Climate Change. New York: Cambridge University Press.**

*É um livro simples de ler e que aconselho aos estudantes para aprofundarem a matéria dada nos capítulos 7, 8 e 10.*

**Taylor, F. W. (2010). Elementary Climate Physics. Oxford University Press**

*É um livro também muito rigoroso e simples, de nível de exigência semelhante ao do Pedro Miranda e que é uma boa alternativa para os alunos que gostarem de ler em inglês*

**Houghton, J. (2009). Global Warming, 4ª edição, Cambridge University Press**

*É um clássico da ciência do aquecimento global. É particularmente interessante na apresentação do efeito de estufa*

**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.**

*É Utilizado para a realização dos trabalhos dos estudantes relativos às projecções do clima no futuro. Existe uma versão resumida em português, editada pelo IPMA, que costumo fornecer aos estudantes, infelizmente a tradução é de má qualidade.*

**McGuffie K, Henderson-Sellers A (2005). A climate modelling primer, 3rd edn. Wiley, Chichester.**

*Utilizo no capítulo 9 (modelos) e em particular o código do modelo (1D) de balanço de energia para a resolução de exercícios e compreensão da retroacção gelo-albedo.*

**Drake F (2000) Global warming: the science of climate change. Arnold/Copublished in the United States of America by Oxford University Press, London/New York**

*Estando já um pouco datado (finais dos anos 90) relativo à discussão das evidências do aquecimento global, é um livro escrito para estudantes de geografia e do ambiente, apropriado para esta unidade curricular. Tem muita informação útil sobre a história do clima.*

**Craig FB (1996): Nuvens numa caneca de cerveja; Experiências simples em Física Atmosférica. 1ª edição, Gradiva**

*Um livre com experiências de física fáceis de reproduzir e outras observações interessantes.*

## **Webografia**

**PhET Interactive Simulations:** <https://phet.colorado.edu/>

*Contém várias animações interactivas muito sugestivas para vários fenómenos das ciências da Terra e do clima. Mostro algumas nas aulas, mas esta página contém muito mais, normalmente interessantes. A descrição, em inglês: “Founded in 2002 by Nobel Laureate Carl Wieman, the project at the University of Colorado Boulder creates free interactive math and science simulations. PhET sims are based on extensive education research and engage students through an intuitive, game-like environment where students learn through exploration and discovery.”*

**Instituto Português do Mar e da Atmosfera:** [www.ipma.pt](http://www.ipma.pt)

*Recorro com frequência à página do IPMA para mostrar dados, cartas, imagens e normais climáticas. Aconselho os estudantes a frequentar esta página também para ver a previsão meteorológica e os boletins climatológicos.*

**Instituto de Ciências da Terra:** <http://www.icterra.pt/>

*Página do ICT com acesso a informações e dados. Em particular a página <http://www.clima.ict.uevora.pt/> permite visualizar os dados meteorológicos de 3 estações do ICT Évora (Évora Cidade, Mitra e Portel) e aceder a dados históricos destas estações. Esta informação é utilizada no decurso das aulas para aguçar o interesse dos estudantes pela informação meteorológica e fornecer dados para exercícios*

**Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brasil):** <http://enos.cptec.inpe.br/>

*Contém uma boa descrição do fenómeno de El Niño- Oscilação Austral, incluindo animações interactivas*

**NASA Global Climate Change Resources:** <https://climate.nasa.gov/resources/>

*Contém um conjunto notável de recursos interessantes sobre alterações climáticas, desde animações a pequenos documentários*

**The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):** <https://www.ipcc.ch/>

*Sítio onde estão disponíveis os relatórios do IPCC e outra documentação relevante*

## **6. Clima no dia a dia**

***Cábula com sugestões de questões proporcionadoras de debates sobre o estado do tempo, o clima ou as alterações climáticas, ligadas a acontecimentos, vistos, ouvidos ou vividos no dia a dia.***

- Episódio de poeira do deserto: Ir com os estudantes olhar o céu, mostrar imagens satélite e do LIDAR do ICT, discutir os efeitos dos aerossóis na radiação.
- Episódio de precipitação intensa: Mostrar aos estudantes as cartas de superfície, discutir os mecanismos que levam à formação das nuvens e à precipitação, falar de frentes atmosféricas, convecção, arrefecimento adiabático. Mostrar imagens de satélite e de radar. Ir ver dados ao site do ICT.
- Se há ou houve nevoeiro: Discutir os mecanismos que levam à formação de nevoeiro, falar de arrefecimento isobárico (e diabático). Medir a humidade relativa utilizando um psicrómetro.
- Se houve precipitação sólida: Falar de cristais de gelo, de graupel, de granizo e neve e de nuvens frias.
- Quando a previsão indica uma alteração rápida do estado do tempo: Mostrar a previsão, incluindo uma análise de cartas; discutir a qualidade da previsão meteorológica.
- Dias de vento forte: Mostrar cartas de pressão, relacionar vento com pressão e falar de vento geostrófico, ver dados das estações do ICT.
- Se está a ocorrer algum furacão no mundo: mostrar imagens e previsões. Falar de ciclones e dos seus efeitos. Comparar com tornados.
- Dias de sol intenso: Ir ver as previsões de UV ao site do ICT, falar do espectro solar e de quais são as radiações mais energéticas, falar do papel do ozono e da estratosfera.
- Se o dia está muito quente (ou se o esteve o anterior): Ir ver a evolução da temperatura no site do ICT, lembrar definições de dias quentes, muito quentes e extremamente quentes; ver cartas e analisar a circulação atmosférica.
- Se a noite esteve muito fria: Discutir se o céu estava limpo e mostrar imagens satélite. Ver os dados da temperatura na estação do ICT. Discutir a descida da temperatura à luz do efeito de estufa provocado pelas nuvens.
- Se os alunos estão a suar: discutir evaporação e transição de fase; relacionar temperatura, humidade e conforto térmico.
- Se há a sensação de o estado do tempo estar quente (frio) há muitos dias: Indicar a definição de ondas de calor (frio) e ir verificar se se está ou não a ocorrer um tal onda; falar de normais climáticas.
- Se ocorre um arco-íris: ir para o exterior observar, explicar porque acontece, falar no espectro solar, em reflexão e refração da luz; aproveitar para falar de outros efeitos de óptica da atmosfera: porque é que o céu é azul e o pôr do sol vermelho.

- Se há vários tipos de nuvens no céu. Sair para o exterior, indicar os tipos de nuvens, a altitude aproximada a que estão e falar de como se formam; discutir a cobertura do céu e de como se estima
- Se está a ser notícia algum evento extremo em Portugal ou no mundo: Discutir o evento, falar de valores médios e de extremos.
- Se está a ocorrer um período de seca: Ir ver dados de precipitação e de teor de água no solo, falar dos indicadores de seca, ir ao site da EDIA verificar como está a albufeira de Alqueva
- Se há notícias de que o estado do tempo em Portugal no mês anterior foi muito diferente da média: Ir analisar o relatório climático que o IPMA disponibiliza todos os meses. Ir ver os dados do ICT e comparar com o mesmo mês mas de outro ano. Diferenciar clima e estado do tempo, falar de normais climáticas.
- Se há notícias de que o estado do tempo no mundo no mês anterior foi muito diferente da média: Ir ver o relatório e os dados no site da NOAA, aproveitar para analisar e discutir as tendências.
- Se houve algum debate nos dias anteriores nalgum canal generalista sobre algum tema ligado às alterações climáticas: Discuti-lo e eventualmente reproduzir algum trecho
- Se há uma trovoadas: falar sobre electricidade atmosférica, relâmpagos e descargas eléctricas nuvem-nuvem e nuvem-terra; tornar a falar de nuvens e precipitação.
- Se há uma situação anti-ciclónica de bloqueio que perdura há algum tempo: Mostrar cartas, falar de anticiclones e de subsidência do ar.
- Se há notícias de haver inundações provocadas pela agitação marítima e a subida da água do mar nas zonas costeiras: falar do nível médio do mar, discutir a que se deve o seu aumento, falar de marés, falar de valores médios e extremos, relacionar a agitação marítima com o vento, relacionar vento com correntes oceânicas de superfície.
- Se está a chover: indicar definições de chuvosos e muito chuvos e ir verificar, discutir porque é que se estamos molhados sentimos mais frio; falar de evaporação, transição de fase e calor sensível.
- Se há um incêndio florestal: falar de meteorologia e fogo; risco meteorológico de incêndio; falar da dispersão da pluma, de aerossóis e dos seus efeitos na radiação.
- Se são visíveis no céu rastos de condensação de aviões (*contrails*): discutir o fenómeno, discutir em geral a condensação e formação de nuvens, falar de cirrus, discutir o impacto dos rastos de condensação dos aviões no clima.