

**VISÃO HOLÍSTICA E GEOÉTICA DO SISTEMA TERRA:
RECURSOS EDUCATIVOS PARA A EDUCAÇÃO AO LONGO
DA VIDA**

Tiago Ribeiro & Clara Vasconcelos



VISÃO HOLÍSTICA E GEOÉTICA DO SISTEMA TERRA: RECURSOS EDUCATIVOS PARA A EDUCAÇÃO AO LONGO DA VIDA

FICHA TÉCNICA

Título: Visão holística e geoética do sistema Terra: Recursos educativos para a educação ao longo da vida

Autores:

Tiago Ribeiro – Professor Auxiliar Convidado na Unidade de Ensino das Ciências da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR), Universidade do Porto, Portugal (tribeiro@fc.up.pt).

Clara Vasconcelos – Professora Associada com Agregação na Unidade de Ensino das Ciências, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR), Universidade do Porto, Portugal (cvascon@fc.up.pt).

Ilustrações: **Tânia Ribeiro** – Estudante na Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto (FBAUP).

Editora: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP)

1.ª Edição: 2025

Data de publicação: XX/XX/2025

Edição eletrónica: eBook (Formato PDF, Número de páginas: 84)

ISBN: XXX

DOI: XXX

Este eBook é publicado com o propósito de divulgação de forma gratuita.

A presente publicação foi desenvolvida no âmbito da tese de doutoramento “*Abordar o Sistema Terra numa perspetiva Geoética: da Ciência Cidadã à Educação em Ciências*” realizada na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) e no Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR), com o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) com a referência SFRH/BD/143306/2019.



Prefácio

Num tempo em que os desafios ambientais, sociais e éticos se entrelaçam de forma cada vez mais complexa, torna-se imperativo repensar a educação em ciências à luz de novos paradigmas que promovam uma compreensão sistêmica e responsável do mundo em que vivemos. Esta obra, da autoria de Tiago Ribeiro e Clara Vasconcelos, responde de forma exemplar a esse desígnio, propondo uma abordagem inovadora e humanista da educação geocientífica, alicerçada nos princípios da geoética e na visão holística do sistema Terra.

Ancorada na investigação e no compromisso com a transformação educativa, esta publicação constitui um contributo para o campo da educação ao longo da vida. Ao conjugar rigor científico com sensibilidade pedagógica, os autores oferecem um conjunto de recursos educativos acessíveis, pertinentes e metodologicamente robustos, capazes de envolver públicos diversos – dos adolescentes aos seniores – num processo ativo de construção de conhecimento e consciência planetária.

O valor desta publicação reside, também, na sua capacidade de integrar as dimensões cognitiva, ética e social da educação em ciências, reconhecendo que compreender o funcionamento do sistema Terra exige, simultaneamente, conhecimento científico, pensamento crítico e responsabilidade moral. Ao promover a reflexão sobre dilemas reais e ao convocar os cidadãos para uma participação informada na construção de um futuro sustentável, os autores posicionam a educação como motor de mudança individual e coletiva.

Esta publicação é, pois, um convite ao diálogo entre ciência e sociedade, entre saber e ação, entre conhecimento e valores. Um convite que urge aceitar, num mundo que clama por cidadãos conscientes, solidários e comprometidos com a preservação do planeta e com a justiça intergeracional. É com renovada esperança no papel transformador da educação que recomendo vivamente a leitura e utilização desta obra – um verdadeiro contributo para a construção de uma cidadania científica, crítica e ética, tão necessária à sustentabilidade do nosso futuro comum.

Apraz-me referir, enquanto Presidente da Academia de Cultura e Cooperação – Universidade Sénior de Santa Maria da Feira, que, como seniores, nos envolvemos neste espírito. Testemunho que tivemos aulas regulares de geoética e de oficina de ciências segundo os planos previamente delineados na “descoberta” atualizada de saberes científicos e comportamentos éticos. Pessoalmente fui aluna dessas aulas e atividades que contaram

sempre com um número presencial de dezenas de alunos por aula. Quanto fascínio, quanto interesse, quanta alegria por tudo o que ia sendo feito! Aprendizagem ao longo da vida, sim. Participação ativa na preservação do planeta e na defesa dos valores universais que devem suportá-lo, também. Condução entusiasta, adequada, científica e humanista do Tiago Ribeiro a quem endereçamos toda a nossa admiração e reconhecimento. Magníficos encontros, aulas, atividades que irão continuar, porque os seniores estão vivos, gostam de ciências, de análises comportamentais e de integração.



Maria Augusta Lima de Pinho Marques Espassandim

Presidente da Academia de Cultura e Cooperação – Universidade Sénior de Santa Maria da Feira

Índice

Prefácio	iii
Introdução	1
1. Educação em Ciências ao Longo da Vida: O papel do Ensino Não-Formal	7
1.1. Educação formal, não-formal e informal ao longo da vida	8
2. A Visão Holística e Geoética do Sistema Terra: Contributos para a Educação Não-Formal em Ciências.....	11
2.1. Educação do Sistema Terra (<i>Earth System Education</i> – ESE) na Educação em Ciências	12
2.2. A Geoética na Educação em Ciências	16
3. O Ensino Orientado para a Aprendizagem por Casos: Uma Metodologia para a Abordagem Sistémica e Geoética do Planeta.....	21
3.1. Ensino Orientado para a Aprendizagem por Casos: A sua origem e pressupostos	22
3.1.1. Ensino Orientado para a Aprendizagem por Casos: Aplicação a dilemas éticos do sistema Terra	24
4. Recursos Educativos para Aprender ao Longo da Vida	27
Considerações finais.....	33
Referências bibliográficas.....	35
Apêndice 1 – Recurso Educativo 1	41
Apêndice 2 – Recurso Educativo 2	53
Apêndice 3 – Recurso Educativo 3	67

Introdução

Vivemos num planeta verdadeiramente único e extraordinário – a Terra. Ímpar no contexto do sistema solar, este planeta, onde se conjugaram, de forma única, condições físico-químicas, geológicas e biológicas que permitiram o surgimento, a manutenção e a diversificação da vida. A Terra, o terceiro planeta a contar do Sol, distingue-se não apenas pela sua posição privilegiada, mas também pelo seu complexo sistema de interações que asseguram um equilíbrio dinâmico fundamental à existência de organismos vivos (Ribeiro & Vasconcelos, 2025). Atualmente, estima-se que este planeta acolha milhões de espécies distintas, das formas microscópicas aos organismos mais complexos, compondo uma extraordinária biodiversidade que habita praticamente todos os ambientes conhecidos. Mais do que um simples espaço com vida, a Terra é, ela própria, um sistema vivo em constante transformação. Os seus processos internos e externos – como a tectónica de placas, a atividade vulcânica e os ciclos biogeoquímicos – operam em escalas temporais e espaciais muito diversas, desde mudanças abruptas a transformações graduais que se desenrolam ao longo de milhões de anos. Essa variabilidade constante faz parte da essência do planeta, conferindo-lhe uma história geológica marcada por grandes eventos, tais como extinções em massa, mudanças climáticas globais e transformações profundas nos ecossistemas.

Ao longo de cerca de 4,56 mil milhões de anos, a Terra passou por uma notável evolução, moldando-se até alcançar as condições que hoje permitem a existência da vida tal como a conhecemos. Este longo percurso foi marcado por episódios de estabilidade e de perturbação, por períodos de catástrofe e de recuperação, cruciais para o desenvolvimento e expansão da vida. A biosfera, em particular, desempenhou um papel determinante na modelação da própria atmosfera e das condições de superfície, evidenciando a profunda interdependência entre os sistemas terrestre e biológico (Herrera-Franco et al., 2022).

Contudo, esta estabilidade dinâmica que caracteriza o planeta encontra-se atualmente em risco. As atividades humanas, sobretudo desde a Revolução Industrial, têm exercido uma pressão crescente sobre os sistemas naturais da Terra, originando alterações ambientais sem precedentes em termos de velocidade e escala. A exploração excessiva de recursos, a poluição dos ecossistemas, a desflorestação, a perda de biodiversidade e, sobretudo, a intensificação das alterações climáticas resultantes da emissão de gases com efeito de estufa, estão a comprometer as condições de habitabilidade que durante milénios se

mantiveram relativamente estáveis. A continuidade da vida, tal como a conhecemos, depende agora da nossa capacidade coletiva de compreender, respeitar e proteger os sistemas naturais que sustentam a Terra.

A rápida evolução científica e tecnológica, especialmente desde a Revolução Industrial, impulsionou o crescimento populacional humano de forma exponencial e descontrolada (Crutzen, 2016; Sachs, 2015). Em 1760, a população humana ascendia aos 7,7 milhões de habitantes, e duplicou em menos de dois séculos, atingindo 15,4 milhões em 1900. Atualmente, partilhamos o planeta Terra com cerca de 8,1 mil milhões de pessoas e prevê-se que a população mundial atinga os 9,7 mil milhões em 2050 (Worldometer, 2023). Este aumento populacional exerce uma pressão significativa sobre o sistema Terra, dada a crescente demanda pelos seus serviços e recursos naturais (Sachs et al., 2022). O impacto das ações humanas tem sido tão intenso que o próprio equilíbrio dinâmico do sistema Terra está comprometido, colocando em risco a habitabilidade futura do planeta. Responder a estes desafios globais exige uma transformação nas atitudes e comportamentos da sociedade, sendo necessário repensar e refletir a forma como interagimos com o sistema Terra, promovendo alternativas às práticas atuais que contribuem para a sua degradação (Peppoloni & Di Capua, 2021; Sachs et al., 2022; Ribeiro & Vasconcelos, 2025; Vasconcelos & Orion, 2021). A procura por essas alternativas requer conhecimento aprofundado dos problemas em questão, especialmente aqueles que envolvem a gestão do sistema Terra, evidenciando o papel crucial da educação em (geo)ciências.

Promover a literacia científica acerca do sistema Terra é essencial para capacitar os cidadãos com os conhecimentos, capacidades, atitudes e valores necessários para compreender os desafios globais e participar ativamente na transformação social. Para alcançar este objetivo, é imprescindível que os cidadãos compreendam o funcionamento do sistema Terra (Ribeiro & Vasconcelos, 2025; Ribeiro & Orion, 2021; Vasconcelos & Orion, 2021). A visão holística do planeta permite compreender melhor os seus processos e fenómenos, devendo, portanto, ser incluída no ensino, para desenvolver um entendimento sistémico e aprofundado sobre o funcionamento da Terra, sensibilizando para os impactos das ações humanas (Orion, 2019; Ribeiro & Vasconcelos, 2022). Como parte integrante deste sistema, a espécie humana, através das suas ações individuais e coletivas, pode modificar as dinâmicas planetárias. Estes impactos não se limitam a um espaço ou tempo específicos, propagando-se de maneira variável e muitas vezes com consequências desconhecidas ou catastróficas para a própria humanidade e para os subsistemas terrestres. As alterações climáticas são um exemplo evidente desta interdependência.

Paralelamente ao conhecimento científico, necessário para compreender o planeta, é crucial que os cidadãos reconheçam as várias dimensões dos problemas, abordando também aspetos sociais, económicos e políticos que precisam ser considerados para definir estratégias adequadas de ação (Peppoloni & Di Capua, 2020; Vasconcelos & Orion, 2021). Importa, assim, desenvolver também uma reflexão ética sobre as nossas ações sob o planeta. Neste sentido, surge a geoética – uma área científica emergente. Esta, baseada nas geociências e com uma forte componente filosófica e com contributos da sociologia e da economia, permite analisar problemas complexos de uma forma abrangente, orientando respostas que considerem tanto o planeta quanto as pessoas (Bobrowsky et al., 2018; Mogk et al., 2017). Desta forma, esta área científica visa inculcar a responsabilidade ética e social em cada cidadão, promovendo a proteção do sistema Terra e a resolução de questões de desenvolvimento e justiça social (Peppoloni & Di Capua, 2020). A educação geoética, ao complementar a abordagem holística defendida, pode ajudar a formar cidadãos conscientes e capacitados para agir face aos desafios planetários (Ribeiro & Vasconcelos, 2025; Ribeiro & Orion, 2021; Vasconcelos & Orion, 2021). Esta abordagem é, assim, particularmente relevante para promover uma interação equilibrada entre a humanidade e o planeta que habitamos.

Defende-se, assim, a necessidade de uma abordagem geoética e sistémica da Terra na educação em ciências, promovendo uma cidadania ativa e informada que valorize as dimensões ambientais, éticas, sociais e económicas inerentes a cada problema (Peppoloni & Di Capua, 2021; Ribeiro & Orion, 2021). Esta forma de educação deve estar acessível a todos, pois a resposta aos desafios planetários exige o contributo de todos os cidadãos em prol do desenvolvimento sustentável. A compreensão da extensão do impacto dos nossos comportamentos sobre o sistema Terra, a magnitude dos desafios para a sustentabilidade e o papel de cada um na proteção do planeta é essencial (Ribeiro & Orion, 2021; Vasconcelos & Orion, 2021).

Torna-se assim necessário educar não só os alunos em idade escolar, mas também as restantes faixas etárias, numa perspetiva de educação ao longo da vida (Cardoso et al., 2018; Laal & Salamati, 2012; Ribeiro & Vasconcelos, 2025). Esta é uma necessidade atual, reforçada pelo quarto objetivo da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, de forma a garantir uma educação de qualidade e acessível para todos. Este objetivo promove oportunidades de aprendizagem para qualquer cidadão, independentemente de idade, género, etnia ou outros fatores sociodemográficos, visando uma participação ativa na sociedade (United Nations, 2015). Para que a educação em ciências seja inclusiva, é necessário ir além da educação formal aplicada nas escolas, com

um currículo estruturado e dirigido para alunos em idade escolar. Torna-se crucial investir numa educação de natureza não-formal, não regida por um currículo escolar e voltada para públicos variados, promovendo a proteção do sistema Terra e o desenvolvimento social, económico e ambiental (Hussin, 2018; Ribeiro & Vasconcelos, 2022).

A educação não-formal permite alcançar públicos diversos, como adolescentes e seniores, incluindo temas atuais que capacitam os cidadãos com competências – conhecimentos, capacidades e atitudes – e valores com relevância para a vida cotidiana e para a convivência em sociedade (UNESCO, 2016; United Nations, 2015). Além disso, a flexibilidade da educação não-formal permite complementar lacunas do currículo formal (Haetinger & Trindade, 2017; Trindade & Cosme, 2016). A integração de assuntos como a abordagem holística e geoética do sistema Terra pode revelar-se de grande relevância na educação não-formal para ensinar os cidadãos a melhor forma de realizarem as suas escolhas tendo em vista os desafios globais.

Nesta publicação procura-se integrar a educação em ciências numa perspetiva de aprendizagem ao longo da vida através da promoção de uma visão holística e geoética do sistema Terra, sensibilizando os cidadãos para a ação em relação aos problemas presentes e futuros. Para tal, foram desenvolvidos três recursos educativos no âmbito de um projeto de ciência cidadã que envolveu cidadãos seniores. Os recursos educativos apresentados foram concebidos no âmbito da tese de doutoramento “*Abordar o Sistema Terra numa perspetiva Geoética: da Ciência Cidadã à Educação em Ciências*”, financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT – ref. SFRH/BD/143306/2019). Estes pretendem contribuir para a discussão de problemas globais de relevância de forma a contribuir para o cumprimento dos alguns dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas (United Nations, 2015). Dada a área científica na qual se integram – educação em ciências –, os recursos educativos pretendem contribuir para uma educação de qualidade e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida (ODS4 – ODS geral) (Figura 1).



Figura 1.

Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) abordados nesta publicação (United Nations, 2015).

Por outro lado, a visão holística e geoética do sistema Terra foi articulada com as temáticas específicas de cada um dos recursos educativos e versavam tópicos intimamente relacionados com os ODS 2, 11, 13, 14 e 15 (ODS específicos – **Figura 1**). Enfrentar os desafios decorrentes da relação entre a humanidade e o planeta requer o desenvolvimento de uma visão holística e geoética da Terra, capaz de sustentar um entendimento sistémico e contextualizado das ações humanas e dos seus efeitos sobre o sistema terrestre (Ribeiro & Vasconcelos, 2025). Esta perspetiva ampla, alicerçada em competências como o pensamento sistémico, em atitudes e comportamentos ambientalmente responsáveis, bem como na adoção de valores geoéticos, revela-se fundamental para uma tomada de decisão informada e para a identificação de soluções que contribuam para atenuar ou evitar os impactos provocados pelas atividades humanas, assegurando a sustentabilidade ambiental, social e económica.

1. Educação em Ciências ao Longo da Vida: O papel do Ensino Não-Formal

A educação em ciências ao longo da vida assume, nas sociedades contemporâneas, uma relevância crescente, sobretudo perante os desafios impostos pela rápida evolução tecnológica, pela complexidade das questões socioambientais e pela necessidade de promover uma cidadania ativa, informada e responsável. Neste contexto, a educação não-formal – entendida como toda a educação organizada e intencional que ocorre fora dos sistemas formais de ensino – revela-se um pilar essencial na promoção de literacia científica e na formação de cidadãos capazes de compreender o mundo natural e tomar decisões fundamentadas (Ke et al., 2021; Teles et al., 2024; Valladares, 2021).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), uma educação de qualidade não se limita à aquisição de conhecimentos factuais, mas deve estimular a criatividade, o pensamento crítico e a capacidade de resolver problemas, promovendo simultaneamente o desenvolvimento de competências cognitivas, interpessoais e sociais, bem como a internalização de valores e atitudes orientadas para o bem comum (UNESCO, 2016). A consolidação destas competências – que articulam saberes, capacidades e disposições éticas – é fundamental para que os indivíduos possam viver de forma plena, equilibrada e saudável. Mais do que isso, é indispensável para que se envolvam de modo consciente, informado e proativo nas múltiplas dimensões dos desafios globais associados ao desenvolvimento sustentável, tais como as alterações climáticas, a conservação da biodiversidade, a transição energética ou a justiça social.

Neste sentido, os contextos não-formais de educação em ciências – como museus, centros de ciência, jardins zoológicos e botânicos, geoparques, associações ambientais, clubes escolares, atividades ao ar livre, entre outros – desempenham um papel estratégico e complementar ao ensino formal (Teles et al., 2025; Teles et al., 2024). Estes espaços e iniciativas oferecem oportunidades de aprendizagem, frequentemente assente na curiosidade e na ligação emocional ao mundo natural. Adicionalmente, a educação não-formal tem a capacidade de promover o diálogo intercultural, a inclusão social e a coesão comunitária. A convivência social harmoniosa, como sublinha a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), requer que os indivíduos sejam capazes de valorizar

e respeitar diferentes perspectivas e sistemas de valores, promovendo a empatia, a cooperação e o compromisso com a equidade (OCDE, 2018). O contacto com abordagens educativas em contextos não-formais permite que os cidadãos de todas as idades se envolvam em experiências autênticas de resolução de problemas, muitas delas relacionadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Importa, por isso, repensar a articulação entre os diversos modos de educação – formal, não-formal e informal – no quadro de uma visão integrada da aprendizagem ao longo da vida. Esta abordagem exige uma valorização dos saberes desenvolvidos em diferentes contextos, bem como o reconhecimento da importância de espaços educativos que, embora fora do sistema escolar, contribuem de forma decisiva para o desenvolvimento pessoal, social e cívico dos cidadãos.

A educação em ciências ao longo da vida, com o apoio do ensino não-formal, deve ser entendida como um processo contínuo, intergeracional e culturalmente situado, capaz de responder às transformações do mundo contemporâneo e de promover uma cidadania planetária, crítica e informada. Trata-se de uma missão educativa partilhada por múltiplos agentes – escolas, famílias, instituições culturais e científicas, organizações da sociedade civil e meios de comunicação – que, em conjunto, podem fomentar uma relação mais consciente, ética e sustentável entre os seres humanos e o planeta que habitam.

A educação, na sua aceção mais ampla, manifesta-se através de diferentes modalidades que se articulam e complementam ao longo da vida dos indivíduos. Tradicionalmente, distingue-se entre educação formal, educação não formal e educação informal, cada uma com características próprias, contextos de aplicação específicos e papéis distintos no desenvolvimento pessoal, social e profissional.

1.1. Educação formal, não-formal e informal ao longo da vida

A educação formal ocorre em instituições reconhecidas pelo sistema educativo, como escolas, universidades e centros de formação acreditados. É uma aprendizagem estruturada, sequencial e planificada, orientada por programas curriculares oficiais, e conduz a certificações legalmente reconhecidas (Carr et al., 2018; La Belle, 1982). Esta modalidade assume um papel central na aquisição de conhecimentos básicos, competências académicas e qualificações profissionais formais. Por oposição, a educação não-formal decorre fora dos

contextos escolares tradicionais, sendo frequentemente promovida por organizações, empresas, associações comunitárias, centros culturais ou em contextos educativos alternativos, como museus ou geoparques. É flexível, adaptável às necessidades específicas dos participantes, e pode ou não conduzir a uma certificação (Saleumsouk, 2020). Inclui, por exemplo, cursos livres, oficinas, ações de formação contínua, projetos de ciência cidadã ou programas de literacia ambiental, científica, entre outros.

A educação informal refere-se à aprendizagem espontânea, não estruturada e não intencional, que ocorre no quotidiano – seja no local de trabalho, em casa, através de interações sociais, da mediação digital ou da experiência de vida (Nygren et al., 2019; Peters et al., 2019). Esta forma de aprendizagem não é sistematizada, não conduz a certificações, mas desempenha um papel crucial na formação contínua de saberes, atitudes e competências sociais, muitas vezes invisíveis no currículo formal, mas essenciais para a cidadania e a vida em comunidade.

O conceito de educação ao longo da vida integra estas três modalidades, reconhecendo que a aprendizagem ocorre de forma contínua, em múltiplos contextos e etapas da vida. A UNESCO e a OCDE defendem uma abordagem holística, em que aprendizagens formais, não-formais e informais se inter-relacionam, potenciando o desenvolvimento de competências fundamentais como a resolução de problemas, a adaptabilidade, o pensamento crítico e a autonomia (Laal et al., 2014; OECD, 2018; Peters et al., 2019).

A educação formal, não formal e informal são dimensões interligadas e igualmente importantes para a aprendizagem ao longo da vida. Valorizar e integrar essas formas amplia o potencial de desenvolvimento individual e coletivo, preparando os cidadãos para os desafios de uma sociedade em constante mudança.

2. A Visão Holística e Geoética do Sistema Terra: Contributos para a Educação Não-Formal em Ciências

Aprender a viver em sintonia com o equilíbrio dinâmico, complexo e frágil do sistema Terra constitui, simultaneamente, um desafio e uma condição essencial para promover a sustentabilidade e assegurar a conservação da biodiversidade e da geodiversidade num planeta em constante transformação. No entanto, alcançar uma compreensão integrada do funcionamento da Terra implica o desenvolvimento de diversas competências fundamentais, como o pensamento sistémico e o pensamento crítico.

Os desafios contemporâneos associados à sustentabilidade e à governança do sistema Terra são intrinsecamente complexos, resultando de múltiplas interações entre fatores ambientais, sociais e económicos. Esta complexidade decorre não só da natureza do próprio sistema terrestre, mas também da instabilidade do seu equilíbrio dinâmico perante os impactos resultantes das ações humanas. A mitigação dos efeitos das atividades antrópicas sobre o planeta exige abordagens interdisciplinares e o domínio de um conjunto de competências específicas, bem como o envolvimento ativo e consciente de todos os cidadãos. Esta mobilização coletiva deve traduzir-se na adoção de comportamentos alinhados com as dinâmicas naturais da Terra.

Promover a consciencialização cívica acerca da responsabilidade ética individual e coletiva face ao planeta requer, por isso, a construção de uma base sólida de conhecimentos, atitudes, valores (geo)éticos e comportamentos pró-ambientais. Tal formação é indispensável para que os cidadãos compreendam o impacto das suas ações e possam tomar decisões informadas e responsáveis. Neste contexto, a educação em geociências, orientada por uma perspetiva sistémica e geoética, assume um papel central na forma como os indivíduos percebem o planeta, os seus processos e a sua própria responsabilidade na preservação do equilíbrio terrestre (Ribeiro & Orion, 2021; Vasconcelos & Orion, 2021).

As geociências, enquanto campo do saber de natureza interdisciplinar, dedicam-se ao estudo de múltiplas dimensões do planeta, integrando áreas como a geologia, a climatologia, a oceanografia ou a sismologia (Ribeiro & Vasconcelos, 2025; Ribeiro & Orion, 2021). Dado o carácter holístico do sistema Terra, a sua compreensão requer o desenvolvimento de competências cognitivas específicas, nomeadamente os pensamentos sistémico,

tridimensional e cíclico. Estas competências são essenciais para interpretar, prever e retroprever fenómenos e processos geológicos em diferentes escalas espaciais e temporais (Ben-Zvi-Assaraf & Orion, 2005; King, 2008; Orion, 2019; Ribeiro & Vasconcelos, 2025; Vasconcelos & Orion, 2021). Tais competências são indispensáveis para uma cidadania responsável, orientada para a tomada de decisões conscientes em relação ao sistema Terra e para a procura de soluções eficazes perante os desafios globais. Devem, por isso, ser integradas na vida quotidiana dos cidadãos, promovendo a sua participação ativa na sociedade. Neste processo, a educação em geociências revela-se particularmente pertinente, dado o seu potencial para desenvolver um pensamento histórico, interpretativo e sistémico, característico das ciências da Terra (King, 2008; Ribeiro & Orion, 2021; Vasconcelos & Orion, 2021).

2.1. Educação do Sistema Terra (*Earth System Education* – ESE) na Educação em Ciências

Uma abordagem educativa centrada na Educação do Sistema Terra (*Earth System Education* – ESE) exige o desenvolvimento de um conjunto articulado de competências entre as quais se destacam o pensamento sistémico com elevado grau de abstração, a aptidão para retrospectivar e antecipar fenómenos e processos geológicos, bem como a sua compreensão em múltiplas escalas espaço-temporais (Ben-Zvi-Assaraf & Orion, 2005; Orion, 2019; Ribeiro & Vasconcelos, 2025; Soltis & McNeal, 2022).

O pensamento sistémico assume um papel fulcral nesta abordagem educativa, uma vez que a sua eficácia depende, em larga medida, do grau de desenvolvimento desta competência específica (Ben-Zvi-Assaraf & Orion, 2005; Soltis & McNeal, 2022). Este tipo de pensamento implica a capacidade de compreender que os sistemas, bem como os seus subsistemas, estão profundamente interligados e interdependentes, produzindo efeitos que transcendem a simples conjunto das suas partes (Soltis et al., 2021; Soltis & McNeal, 2022). De acordo com Ben-Zvi-Assaraf e Orion (2010), o desenvolvimento do pensamento sistémico estrutura-se em torno de oito características organizadas hierarquicamente, reunidas no modelo designado por Modelo Hierárquico do Pensamento Sistémico (na literatura internacional, *System Thinking Hierarchical Model* [STHM]). A descrição detalhada deste modelo encontra-se sistematizada na **Tabela 1**.

O desenvolvimento do pensamento sistémico constitui uma condição indispensável para alcançar o principal objetivo da ESE: o insight ambiental, conceito referido na literatura como *environmental insight* (Orion, 2016; Ribeiro & Vasconcelos, 2025).

Tabela 1.

As oito características hierárquicas do pensamento sistémico que compõem o Modelo Hierárquico do Pensamento Sistémico (STHM) proposto Ben-Zvi-Assaraf e Orion (2010) (adaptado de Ben-Zvi-Assaraf e Orion, 2010, p. 1255).

Características	Exemplo – Ciclo hidrológico
1. Identificar os componentes de um sistema e os processos que nele ocorrem.	Identificar os oceanos, rios, lagos, glaciares, entre outros componentes, e processos como evaporação e precipitação, por exemplo.
2. Identificar as relações entre os componentes do sistema.	Identificar a relação entre a composição mineralógica da água e as rochas por onde passa, por exemplo.
3. Identificar as relações dinâmicas que ocorrem no sistema.	Identificar os efeitos antrópicos sob as águas subterrâneas através da sua poluição com fertilizantes ou pesticidas, por exemplo.
4. Organizar os componentes e processos dos sistemas de acordo com a sua estrutura de relações.	Organizar do ciclo hidrológico como uma rede de processos e relações que ocorrem em simultâneo no ambiente terrestre e nos oceanos, por exemplo.
5. Compreender a natureza cíclica dos sistemas.	Através da própria natureza do ciclo hidrológico, compreender que este é composto por subciclos como a evaporação e precipitação ou a transpiração e absorção da água pelas plantas, por exemplo.
6. Estabelecer generalizações.	Compreender que o ciclo hidrológico é um sistema dinâmico e cíclico e mobilizar esta noção na prevenção de ameaças ambientais num contexto mais amplo a nível da hidrosfera, por exemplo.
7. Compreender as dimensões escondidas do sistema.	Reconhecer padrões e relações do ciclo hidrológico que ocorrem em profundidade nas águas subterrâneas, por exemplo.
8. Pensar temporalmente (retrospeção e previsão)	Compreender que a qualidade atual da água potável de uma determinada área é resultado dos eventos e processos que decorreram ao longo da história geológica e humana. A previsão pode ser expressa antecipando o impacto de uma instalação industrial numa determinada área sobre a qualidade da água dessa região, por exemplo.

De acordo com Orion (2019), o insight ambiental corresponde à competência de ultrapassar conflitos cognitivos que emergem do próprio processo de desenvolvimento do pensamento sistémico e da articulação de múltiplos conceitos necessários à compreensão de fenómenos e processos caracterizados por diferentes escalas espaço-temporais e por um elevado grau de abstração. Segundo alguns autores (Orion, 2016; Orion, 2019; Vasconcelos & Orion, 2021), o insight ambiental resulta da integração de três dimensões fundamentais:

1. A perceção de que habitamos um planeta que funciona como um sistema dinâmico, composto por subsistemas interdependentes que interagem ciclicamente através da troca de matéria e energia;
2. A compreensão de que a espécie humana faz parte integrante da biosfera e, como tal, influencia e é influenciada pelas dinâmicas do sistema Terra;

3. A consciência de que o ser humano deve orientar a sua existência em consonância com os princípios de funcionamento e a dinâmica do sistema terrestre.

A prosperidade da espécie humana está intimamente ligada ao desenvolvimento do insight ambiental. De acordo com Ben-Zvi-Assaraf e Orion (2005), o pensamento sistêmico é uma forma de raciocínio essencial para compreender não só fenômenos científicos e tecnológicos, mas também questões sociais para refletir criticamente sobre os desafios da sustentabilidade (Soltis & McNeal, 2022; Vasconcelos & Orion, 2021). Neste enquadramento, a ESE constitui uma abordagem pedagógica relevante no âmbito da educação em (geo)ciências, uma vez que visa capacitar os cidadãos para coexistirem de forma harmoniosa com o planeta, através da compreensão do seu funcionamento holístico (Ribeiro & Orion, 2021; Vasconcelos & Orion, 2021).

A literatura aponta que o nível mais avançado de compreensão do sistema Terra se traduz na perceção do planeta como um sistema dinâmico, complexo e adaptativo. No entanto, investigações no domínio da ESE demonstram que tanto alunos em idade escolar como adultos revelam dificuldades significativas neste campo (Ribeiro & Vasconcelos, 2022; Soltis et al., 2021). As principais limitações identificadas nos processos de aprendizagem da ESE incluem: (i) a dificuldade em conceber a Terra como um sistema dinâmico; (ii) a tendência para fragmentar a compreensão do planeta, negligenciando a sua natureza holística; (iii) a presença de modelos mentais inadequados relativamente aos seus subsistemas; e (iv) a ausência de pensamento concetual sofisticado sobre mecanismos de causalidade frequentemente contraintuitivos (Orion & Libarkin, 2014; Scherer et al., 2017). Estas dificuldades são agravadas pela dimensão das escalas espaciais e temporais em que os fenômenos geológicos se manifestam. Para superar tais obstáculos, defende-se que uma abordagem eficaz da ESE deve assentar em três pilares fundamentais (Orion, 2002): (i) pertinência e contextualização, estabelecendo ligações com a vida quotidiana; (ii) promoção do desenvolvimento do insight ambiental; e (iii) adoção de uma abordagem de ensino de natureza (socio)construtivista.

Uma das características distintivas da ESE é a integração de ambientes indoor (como a sala de aula ou o laboratório) e outdoor (nomeadamente através de saídas de campo) (Orion, 2019; Ribeiro & Orion, 2021; Vasconcelos, 2016). Estas últimas, quando devidamente estruturadas e suportadas por metodologias, estratégias e recursos adequados, possibilitam a aplicação de vários tipos de raciocínio – sistêmico, cíclico, lógico, tridimensional e espaço-temporal – através da observação e análise direta de fenômenos, processos e materiais naturais, favorecendo uma aprendizagem sensoriomotora (Orion, 2019; Orion et al., 2020).

As saídas de campo são, assim, estratégias educativas particularmente eficazes nas áreas das ciências da Terra e da vida (Leininger-Frézal & Sprenger, 2022). Contudo, continuam a ser pouco exploradas na prática educativa devido a diversos constrangimentos, como dificuldades logísticas ou a falta de formação e confiança por parte dos professores relativamente a este tipo de abordagem (Orion, 1993). Para colmatar estas limitações, Orion (1993) propôs um modelo estruturado para integrar as saídas de campo como parte de uma sequência de aprendizagem articulada. Este modelo compreende três fases interdependentes – uma fase de preparação (pré-saída), a própria saída de campo e uma unidade de síntese (pós-saída) –, que parte do concreto para o abstrato (Ben-Zvi-Assaraf & Orion, 2010; Orion & Ault, 2007). O contacto direto com os elementos naturais do sistema Terra desperta a curiosidade e potencia a motivação, ao ativar o instinto inato para aprender (Orion et al., 2020).

Em alternativa, as saídas de campo podem, em determinadas circunstâncias, assumir uma vertente virtual. Esta opção pode revelar-se particularmente útil perante obstáculos como restrições orçamentais, limitações de tempo, dificuldades motoras dos participantes, ou mesmo em situações de crise, como aconteceu durante a pandemia de COVID-19 (Leininger-Frézal & Sprenger, 2022). As saídas de campo virtuais podem igualmente apoiar-se em metodologias ativas, construtivistas ou socioconstrutivistas. De acordo com o grau de autonomia e interação proporcionado, estas podem ser classificadas como visitas virtuais, saídas de campo virtuais guiadas ou abertas (Friess et al., 2016; Leininger-Frézal & Sprenger, 2022). A aprendizagem, sendo um processo natural e emocional, é impulsionada por estímulos que despertam uma resposta cognitiva alinhada com essa necessidade emocional (Orion, 2007; Orion, 2019). A ESE, ao estabelecer pontes entre o saber escolar e o mundo real, permite aos cidadãos atribuir significado, relevância e aplicabilidade ao conhecimento construído (Orion, 2019).

Uma abordagem holística da educação em geociências, como a proposta pela ESE, reveste-se de especial importância, pois visa dotar os cidadãos de competências que lhes permitam agir de forma informada e responsável em relação ao planeta, promovendo uma convivência harmoniosa com a dinâmica do sistema Terra e alcançando o insight ambiental (Orion, 2019; Vasconcelos & Orion, 2021). A educação em ciências, e em particular a educação geocientífica, apresenta-se como um campo propício à adoção de metodologias diversificadas, aplicáveis dentro e fora do espaço formal da sala de aula, oferecendo contributos efetivos para a concretização dos três pilares da sustentabilidade – ambiental, social e económico – através da educação ambiental e da educação para a sustentabilidade (Kioupi & Voulvoulis, 2019; Vasconcelos, 2016).

Atualmente, mais do que nunca, impõe-se a necessidade de orientar a sociedade no sentido da sustentabilidade, o que requer transformações profundas nos saberes, valores, atitudes e comportamentos, tanto a nível individual como coletivo (Kioupi & Voulvoulis, 2019). Para isso, os cidadãos devem refletir criticamente sobre a sua relação com os componentes bióticos e abióticos do sistema terrestre, bem como sobre o impacto das suas ações (Kioupi & Voulvoulis, 2019; Orion, 2019). O pensamento sistémico, em articulação com o insight ambiental, revela-se essencial para compreender a complexidade das consequências das ações humanas no sistema Terra – impactos que extravasam a esfera ambiental e exigem respostas interdisciplinares e o envolvimento coordenado da comunidade global.

2.2. A Geoética na Educação em Ciências

As geociências dedicam-se ao estudo dos processos e fenómenos que caracterizam a dinâmica do sistema Terra. O conhecimento científico gerado por esta área permite uma compreensão cada vez mais aprofundada do funcionamento do planeta, sendo essencial para identificar formas eficazes de garantir a sua habitabilidade (King, 2008; Mogk et al., 2017; Vasconcelos & Orion, 2021). Contudo, o desenvolvimento de conhecimento técnico-científico deve ser acompanhado por uma reflexão crítica sobre a natureza dos problemas enfrentados, de modo a capacitar os cidadãos para considerarem, nas suas decisões, dimensões de ordem social, ambiental e económica (Bohle & Marone, 2021; Di Capua et al., 2017; Peppoloni & Di Capua, 2021). Para abordar de forma abrangente e coerente estes desafios, torna-se crucial promover o desenvolvimento de pensamento e ações fundamentados em princípios geoéticos (Mogk et al., 2017; Peppoloni & Di Capua, 2020; Vasconcelos & Orion, 2021), como defendido pela geoética, disciplina que procura dar resposta aos problemas globais a partir de uma perspetiva holística do sistema terrestre.

Questões contemporâneas, como a desoxigenação e estratificação dos oceanos, a sobreexploração de recursos naturais, as alterações climáticas ou a gestão de riscos geológicos, exigem um entendimento claro por parte da sociedade – tanto das suas causas como das suas características e potenciais soluções. Para além do conhecimento científico indispensável, é igualmente necessário atender às implicações éticas, sociais, ambientais e económicas de cada decisão (Mogk et al., 2017; Peppoloni & Di Capua, 2020). Promover uma aprendizagem verdadeiramente profunda e transformadora requer uma educação em (geo)ciências capaz de sensibilizar os indivíduos para as consequências das ações humanas sobre o planeta. Esta educação deve incentivar uma visão holística do sistema Terra, bem

como a interiorização de valores e práticas orientadas pela geoética (Bobrowsky et al., 2018; Mogk et al., 2017; Orion, 2019; Vasconcelos & Orion, 2021).

A geoética, enquanto componente integrada da ESE, tem um papel central ao estabelecer pontes entre as geociências e as ciências sociais (Mogk et al., 2017; Orion, 2019; Peppoloni & Di Capua, 2022), promovendo respostas mais adequadas a problemas enraizados em diferentes contextos socioculturais. Por esse motivo, defende-se a sua inclusão nos currículos escolares e na comunicação com a sociedade (Keane & Asher, 2021; Mogk et al., 2017; Orion, 2019; Peppoloni & Di Capua, 2020, 2021).

A educação poderá desempenhar um papel fundamental neste processo, sendo necessário criar oportunidades para que cidadãos de todas as idades tenham acesso ao ensino da geoética. As abordagens educativas devem pautar-se por princípios de inclusão, participação e proatividade, de modo a fomentar a responsabilidade social de cada indivíduo na promoção do bem-estar coletivo e na salvaguarda do sistema terrestre (Bohle & Marone, 2021; Peppoloni & Di Capua, 2021; Vasconcelos & Orion, 2021). Neste contexto, torna-se essencial apostar tanto em ambientes formais como não-formais de educação, garantindo o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo, a fundamentação ética das decisões, o enriquecimento pessoal e cultural, a criação de visões alternativas e inovadoras, e o envolvimento ativo dos cidadãos nos processos de tomada de decisão (Orion, 2019; Vasconcelos & Orion, 2021).

A educação não-formal adquire particular relevância, uma vez que permite aproximar a geoética da realidade cotidiana dos cidadãos. Face à sua ainda limitada presença nos programas escolares, torna-se necessário investir em estratégias não-formais ajustadas aos diferentes contextos socioculturais, possibilitando a apropriação prática da geoética e incentivando, eventualmente, a sua integração nos currículos oficiais (Keane & Asher, 2021). Ao aplicar a geoética em contextos reais, os cidadãos compreendem de forma mais clara a utilidade e pertinência das geociências, reforçando competências e valores.

O ensino desta área favorece o desenvolvimento do pensamento crítico, da reflexão e da argumentação (Mogk et al., 2019), competências indispensáveis face à complexidade dos problemas abordados, que requerem uma perspectiva interdisciplinar e sistêmica, alinhada com os princípios da ESE. Neste sentido, a geoética surge como um motor potenciador do insight ambiental e, por conseguinte, de uma visão holística do planeta, ao oferecer aos cidadãos oportunidades de: i) compreenderem a interligação entre os subsistemas do sistema Terra, através da análise de problemas reais, onde são evidentes os

impactos das atividades humanas sobre os fenômenos e processos naturais; ii) reconhecerem o papel da humanidade como parte integrante do sistema terrestre, assumindo as responsabilidades éticas associadas à preservação do planeta; iii) interiorizarem a necessidade de estabelecer uma relação equilibrada e sustentável com as dinâmicas naturais do planeta, promovendo uma convivência harmoniosa com o sistema Terra.

O ensino da geoética deve centrar-se no aluno, promovendo uma aprendizagem ativa, que permita aplicar conceitos teóricos abstratos a situações concretas e contextualizadas (Keane & Asher, 2021; Mogk et al., 2017; Peppoloni & Di Capua, 2021; Vasconcelos et al., 2015). Esta abordagem deve apoiar-se na resolução de casos práticos e relevantes, criando o enquadramento necessário ao desenvolvimento de pensamento e ações geoéticas, assim como à consolidação do insight ambiental (Keane & Asher, 2021; Orion, 2019; Ribeiro & Orion, 2021; Vasconcelos & Orion, 2021). É necessário consciencializar os cidadãos sobre as problemáticas que têm de confrontar atualmente e no futuro, afigurando-se uma oportunidade de aplicação dos valores geoéticos nos processos de ensino e de aprendizagem, enquadrada numa abordagem ESE.

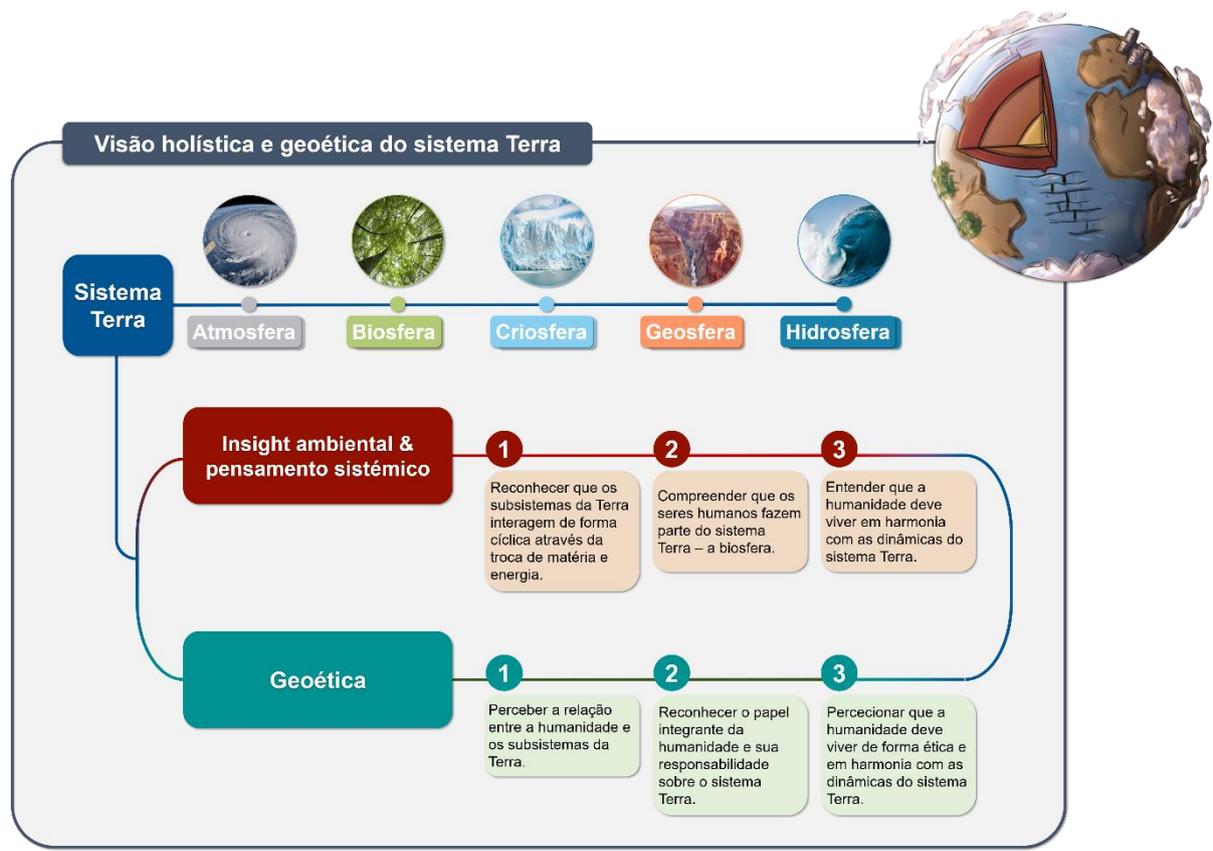


Figura 2. Visão holística e geoética do sistema Terra (adaptado de Ribeiro & Vasconcelos, 2025, p.16).

Assumir uma visão holística e geoética do sistema Terra (**Figura 2**) implica reconhecer a complexidade, interdependência e dinamismo dos seus subsistemas e o papel ativo da humanidade nesse sistema em permanente transformação. Tal visão convida à compreensão de que os fenómenos naturais e as ações humanas estão profundamente interligados, exigindo um compromisso ético para com o planeta e as gerações futuras. A geoética, neste contexto, não se limita a uma ética aplicada às geociências, mas assume-se como uma conduta crítica e orientadora para a tomada de decisões informadas, responsáveis e sustentáveis, promovendo valores como a cooperação, a justiça ambiental e o respeito pelos limites do sistema Terra. Esta abordagem é essencial para formar cidadãos conscientes da sua pertença ao sistema terrestre e das implicações éticas das suas escolhas individuais e coletivas, contribuindo para uma sociedade mais resiliente, justa e comprometida com a sustentabilidade global.

3. O Ensino Orientado para a Aprendizagem por Casos: Uma Metodologia para a Abordagem Sistêmica e Geoética do Planeta

A educação em ciências, à semelhança do que ocorreu com a ESE, registou um desenvolvimento significativo nas últimas décadas do século XX, particularmente durante a década de 1990, influenciada pelo contexto geopolítico da Guerra Fria (1947–1991) (Mayer, 1997; Orion, 2002). Este período marcou o progressivo abandono de práticas educativas assentes em metodologias transmissivas e centradas no professor. Em contrapartida, ganharam relevância abordagens pedagógicas sustentadas nas teorias da aprendizagem construtivista e socioconstrutivista, associadas, respetivamente, a Jean Piaget (1896–1980) e Lev Vygotsky (1896–1934).

A partir destas correntes teóricas, emergiram metodologias ativas centradas no aluno, nomeadamente o ensino orientado para a aprendizagem por investigação (*inquiry-based teaching*) (Moreno, 2010). Este novo paradigma educativo representou uma mudança de foco – da formação de futuros cientistas para a preparação de futuros cidadãos –, promovendo uma maior valorização dos conhecimentos prévios, das experiências individuais e sociais, das especificidades dos alunos e da sua relação com o meio envolvente (Moreno, 2010; Orion, 2002; Pritchard, 2018).

Paralelamente à transformação metodológica, registou-se também uma reconfiguração dos currículos de ciências, com a introdução de temáticas ambientais. No entanto, muitas dessas abordagens revelaram-se superficiais, uma vez que não integravam o conhecimento que os alunos possuíam sobre o ambiente em que viviam. Frequentemente, estas propostas educativas restringiam-se a ações pontuais, como a reciclagem, sem envolver os alunos em problemáticas ambientais mais complexas, desafiantes e com verdadeiro significado, tais como as alterações climáticas, a poluição ou a gestão sustentável de recursos (Ben-Zvi-Assaraf & Orion, 2005; Orion, 2002). Ao não contextualizarem a aprendizagem em realidades próximas e relevantes, estas práticas educativas limitaram o potencial transformador da educação em ciências.

3.1. Ensino Orientado para a Aprendizagem por Casos: A sua origem e pressupostos

Na década de 1870, Christopher Langdell (1826–1906), professor de Direito na *Harvard University* (EUA), introduziu na sua prática pedagógica uma metodologia inovadora: a utilização de casos reais como base para a aprendizagem. Esta metodologia permitia aos estudantes confrontar-se com situações concretas e aplicar os seus conhecimentos de forma contextualizada, desafiando o modelo tradicional de ensino transmissivo vigente na época (Merseeth, 1991; Vasconcelos et al., 2020).

Anos mais tarde, esta metodologia foi defendida como adequada para o ensino na área das ciências empresariais na mesma universidade, embora só tenha começado a ser verdadeiramente implementada em 1919. No ano seguinte, Melvin Copeland (1884–1975), professor de marketing, publicou o primeiro manual baseado em casos reais no domínio dos negócios, o qual rapidamente ganhou ampla aceitação: em apenas dois anos, já era adotado em 85 instituições de ensino. Em 1985, esta abordagem foi introduzida no ensino da medicina, também na *Harvard University* (Vasconcelos et al., 2020).

Progressivamente, esta metodologia foi sendo adotada em outras áreas do conhecimento, incluindo o ensino das ciências (Garvin, 2003; Vasconcelos et al., 2020), e atualmente é reconhecida como ensino orientado para a aprendizagem por casos (EOAC), enquadrando-se na abordagem mais ampla de ensino orientado para a aprendizagem por investigação (EOAI).

O EOAC assenta nos pressupostos da teoria socioconstrutivista da aprendizagem, proposta por Lev Vygotsky, e caracteriza-se por ser centrado no aluno e por valorizar fortemente a interação social (Moreno, 2010; Vasconcelos et al., 2022b). A particularidade distintiva do EOAI reside na utilização de contextos reais como ponto de partida para a aplicação do conhecimento. Ao envolver os alunos em situações com as quais se identificam, promove-se a construção de novos saberes e consolidação e mobilização de conhecimentos prévios (Darling-Hammond & Hammerness, 2002; Garvin, 2003).

Os casos explorados nesta metodologia podem apresentar elevada complexidade e envolver problemas de diversas naturezas, exigindo frequentemente uma abordagem interdisciplinar. Esta característica torna o EOAC especialmente adequado aos objetivos da ESE, que também valoriza a articulação entre diferentes áreas do saber. Muitos dos casos

utilizados configuram-se como dilemas, exigindo aos alunos uma análise crítica dos impactos positivos e negativos de diferentes soluções possíveis, reconhecendo que não existem respostas neutras ou isentas de consequências (Darling-Hammond & Hammerness, 2002; Garvin, 2003; Vasconcelos et al., 2020). Assim, os alunos são confrontados com múltiplas dimensões – ambientais, sociais, políticas, económicas, entre outras – que requerem diferentes linhas de raciocínio, mas que, simultaneamente, devem ser articuladas, dada a interdependência sistémica dos elementos em causa. Esta complexidade proporciona o desenvolvimento de competências transversais, como o pensamento crítico, a capacidade de resolução de problemas e a tomada de decisão fundamentada (Anderson & Schiano, 2014; Garvin, 2003; Vasconcelos et al., 2020).

Além disso, o EOAC potencia o desenvolvimento de competências como a reflexão, o questionamento, a criatividade e o raciocínio científico. Estas são estimuladas durante a análise dos casos e das problemáticas associadas, em processos que seguem uma lógica socrática de debate, análise, argumentação e conclusão (Anderson & Schiano, 2014; Garvin, 2003). É fundamental que os alunos disponham de espaço para colocar questões – desde os fundamentos teóricos até às implicações práticas dos conceitos estudados. Idealmente, os alunos devem envolver-se ativamente nos casos, assumindo o papel de protagonistas nas situações analisadas, o que favorece uma aprendizagem ativa. Neste processo, mobilizam os seus conhecimentos prévios e relacionam-nos com experiências anteriores, aplicando-os a contextos concretos e, assim, desenvolvendo novas competências numa lógica de aprendizagem autorregulada (Vasconcelos et al., 2020).

Como abordado, o carácter socioconstrutivista desta metodologia pressupõe interações entre pares e com o professor. Este assume o papel de facilitador da aprendizagem, orientando o processo de construção do conhecimento e apoiando o desenvolvimento de competências cognitivas, sociais e atitudinais (Moreno, 2010; Vasconcelos et al., 2020). Cabe-lhe também promover dinâmicas de grupo que favoreçam a colaboração, dado que grande parte da aprendizagem ocorre através da partilha de perspetivas entre colegas. Assim, o trabalho em grupo contribui para o desenvolvimento de competências interpessoais, como a comunicação, a cooperação, a argumentação, a formação de opinião crítica e o sentido de justiça (Anderson & Schiano, 2014; Darling-Hammond & Hammerness, 2002).

Face aos desafios globais que atualmente enfrentamos, torna-se urgente formar cidadãos capazes de intervir de forma informada, crítica e responsável na sociedade. Para tal, é imprescindível promover o desenvolvimento de um conjunto de competências que

podem ser efetivamente trabalhadas através da metodologia do EOAC. Esta metodologia, pela sua flexibilidade, profundidade e orientação para a ação, revela-se, assim, uma ferramenta de grande valor para a educação em ciências e para a formação de cidadãos preparados para lidar com a complexidade do mundo contemporâneo.

3.1.1. Ensino Orientado para a Aprendizagem por Casos: Aplicação a dilemas éticos do sistema Terra

No domínio da geoética, surgem frequentemente situações cuja resolução não apresenta alternativas isentas de consequências negativas. Estes casos, em que todas as opções implicam compromissos e potenciais impactos adversos, são designados por dilemas geoéticos (Marone & Peppoloni, 2017). Devido à sua complexidade, exigem a mobilização de conhecimentos de ordem superior, bem como uma reflexão profunda e um debate alargado sobre as diversas dimensões envolvidas, com vista à identificação da solução mais equilibrada, ponderando os seus potenciais benefícios e prejuízos (Marone & Peppoloni, 2017; Mogk, 2017; Vasconcelos et al., 2020c). Este processo fomenta igualmente o desenvolvimento de competências de tomada de decisão responsável, essenciais para uma participação cívica ativa, informada e consciente, sustentada em valores éticos, consciência ambiental e sentido de responsabilidade coletiva (Peppoloni & Di Capua, 2021; Vasconcelos et al., 2020), contribuindo assim para mudanças de comportamento em prol da sustentabilidade do sistema Terra (Vasconcelos & Orion, 2021).

Neste contexto, as relações interpessoais desempenham um papel determinante na abordagem de dilemas geoéticos. A dimensão ética do relacionamento entre pares deve ser promovida, uma vez que contribui para o desenvolvimento de competências colaborativas e para o respeito pela diversidade de perspetivas (Mogk et al., 2017; Orion, 2019). A metodologia de ensino orientado para a aprendizagem por casos (EOAC) favorece o trabalho colaborativo, incentivando os alunos a gerir as suas interações na construção conjunta de soluções (Keane & Asher, 2021; Vasconcelos et al., 2020). Este ambiente educativo proporciona oportunidades para cultivar valores como a entreatajuda, o respeito mútuo, o sentido de justiça e a cooperação.

A integração da geoética na educação em geociências visa capacitar os cidadãos para a identificação de questões éticas e conflitos de valores associados a desafios socioambientais complexos. Pretende-se que os cidadãos desenvolvam um sentido de

responsabilidade perante o sistema Terra, que reflitam criticamente sobre soluções possíveis – considerando limitações, incertezas, dificuldades de implementação e respectivas consequências – e que reconheçam a importância de colaborar com os decisores políticos e institucionais. Para tal, é essencial que a educação científica incorpore a resolução de casos concretos que evidenciem as potencialidades da abordagem geoética para além do campo das geociências, abrangendo áreas como o desenvolvimento económico, a saúde pública, a educação, a justiça ambiental, a promoção da paz ou a redução das desigualdades (Keane & Asher, 2021; Mogk et al., 2017).

Este alargamento da perspetiva geoética permite aos alunos responder de forma mais abrangente às diversas exigências colocadas por cada problema e contribui diretamente para a promoção do desenvolvimento sustentável em todas as suas dimensões. Assim, torna-se fundamental promover abordagens educativas centradas na geoética, com vista à formação de cidadãos capazes de participar ativamente nas decisões que moldam o futuro coletivo. Simultaneamente, estas abordagens contribuem para o reconhecimento político do papel dos cidadãos na construção do bem comum (Peppoloni & Di Capua, 2021; Ribeiro & Orion, 2021).

A educação geoética pode, deste modo, constituir uma ferramenta fundamental na construção de um referencial ético orientador das ações humanas, sustentado em princípios e valores partilhados. Esta educação sensibiliza os cidadãos para os impactos das suas escolhas nas dinâmicas planetárias e sociais (Bohle & Marone, 2021; Peppoloni & Di Capua, 2021; Vasconcelos & Orion, 2021). A disseminação do pensamento geoético favorece a criação de consensos em torno de objetivos comuns e promove a convergência de esforços individuais e coletivos, orientando as ações dos diferentes grupos sociais numa lógica de colaboração e bem comum (Peppoloni & Di Capua, 2021; Vasconcelos & Orion, 2021).

Neste sentido, a educação geoética deve ser acessível a todos, tendo como finalidade o reforço da literacia científica da sociedade e a promoção de uma consciência ética global (Mogk et al., 2017; Orion, 2019; Peppoloni & Di Capua, 2022). Só através desta transformação educativa será possível fomentar as mudanças sociais necessárias à sustentabilidade do sistema Terra.

4. Recursos Educativos para Aprender ao Longo da Vida

A crise climática, designada pelo Secretário-Geral das Nações Unidas, António Guterres, como um verdadeiro colapso climático, é impulsionada pelas emissões de gases com efeito de estufa resultantes, maioritariamente, de atividades humanas como a combustão de combustíveis fósseis, a desflorestação e a intensificação da atividade pecuária. Estas emissões têm contribuído para o aumento da frequência, intensidade e duração de fenómenos meteorológicos extremos – como ondas de calor, inundações e secas prolongadas – com impactos diretos na saúde e mortalidade humanas.

Para além das alterações nos padrões climáticos, o aquecimento global tem acelerado a subida do nível médio dos oceanos, potenciando a erosão das zonas costeiras e aumentando a vulnerabilidade das populações litorais face a riscos geológicos. Este aquecimento afeta igualmente o funcionamento dos ecossistemas marinhos, promovendo a estratificação térmica das águas, a acidificação e a desoxigenação dos oceanos. Estas alterações comprometem a biodiversidade marinha, provocando deslocações de espécies, desequilíbrios nas cadeias tróficas e riscos significativos para a segurança alimentar global.

A pressão exercida sobre os recursos naturais tem vindo a intensificar-se, impulsionada pelo crescimento populacional e pelos atuais padrões de consumo, muitas vezes insustentáveis. Esta sobrecarga leva à desflorestação massiva, à degradação e fragmentação de ecossistemas, bem como à transformação de áreas naturais em territórios urbanos, agrícolas, pecuários ou destinados à exploração de recursos minerais e energéticos. Tais práticas não só comprometem os equilíbrios ecológicos, como também reforçam o ciclo vicioso das alterações climáticas, ao aumentar ainda mais as emissões de gases com efeito de estufa.

Estes fenómenos ilustram de forma clara o carácter sistémico do funcionamento do planeta Terra, evidenciando a sua elevada sensibilidade às pressões exercidas pelas atividades humanas. Outros exemplos poderiam igualmente ser explorados para reforçar esta compreensão da vulnerabilidade do sistema terrestre face à ação antropogénica.

No âmbito da tese de doutoramento “*Abordar o Sistema Terra numa perspetiva Geoética: da Ciência Cidadã à Educação em Ciências*” (ref. SFRH/BD/143306/2019), foram

concebidos três recursos educativos especificamente adaptados para dois públicos-alvo distintos: adolescentes e seniores. A concepção destes recursos teve como objetivo principal explorar temáticas cientificamente relevantes do ponto de vista pessoal e social para os voluntários envolvidos. Pretendeu-se, assim, promover o desenvolvimento de uma compreensão holística dos sistemas terrestres, ancorada numa perspetiva geoética que fomente a responsabilidade individual e coletiva face aos desafios contemporâneos.

Os recursos educativos desenvolvidos foram os seguintes:

- **Recurso Educativo 1 (RE1):** *As alterações climáticas: da saúde humana aos impactos para os ecossistemas marinhos* – ver **Apêndice 1**, página 41;
- **Recurso Educativo 2 (RE2):** *O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactos no sistema Terra* – ver **Apêndice 2**, página 53;
- **Recurso Educativo 3 (RE3):** *A alimentação humana: dos hábitos alimentares cotidianos às práticas agrícolas* – ver **Apêndice 3**, página 67.

Do ponto de vista estrutural, os três recursos partilham uma organização comum, tendo como base a metodologia de Ensino Orientado para a Aprendizagem por Casos (EOAC). Esta abordagem pedagógica foi selecionada por favorecer o pensamento crítico, a contextualização dos saberes e a resolução colaborativa de problemas. Cada recurso educativo integra os seguintes elementos: i) um título temático, claro e apelativo; ii) uma descrição introdutória, que contextualiza o tema; iii) identificação explícita dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU abordados em cada proposta; iv) a explicitação do propósito e dos objetivos de aprendizagem específicos do recurso (ver **Figura 3**); v) a apresentação do caso, seguido de questões orientadoras destinadas a estimular a análise, a discussão e a reflexão crítica; vi) a descrição do procedimento sugerido, com etapas bem definidas para a implementação em contexto educativo não-formal; vii) uma lista de referências bibliográficas que fundamenta cientificamente o conteúdo.

Este conjunto de recursos educativos visa não apenas facilitar o desenvolvimento de competências científicas, mas também incentivar o envolvimento ativo dos cidadãos na construção de sentido sobre problemáticas que versam, promovendo valores de cidadania responsável e sustentabilidade. A adaptação a diferentes faixas etárias procurou garantir a acessibilidade, a relevância contextual e a adequação dos desafios propostos às capacidades cognitivas, interesses e experiências de vida de cidadãos de qualquer idade.

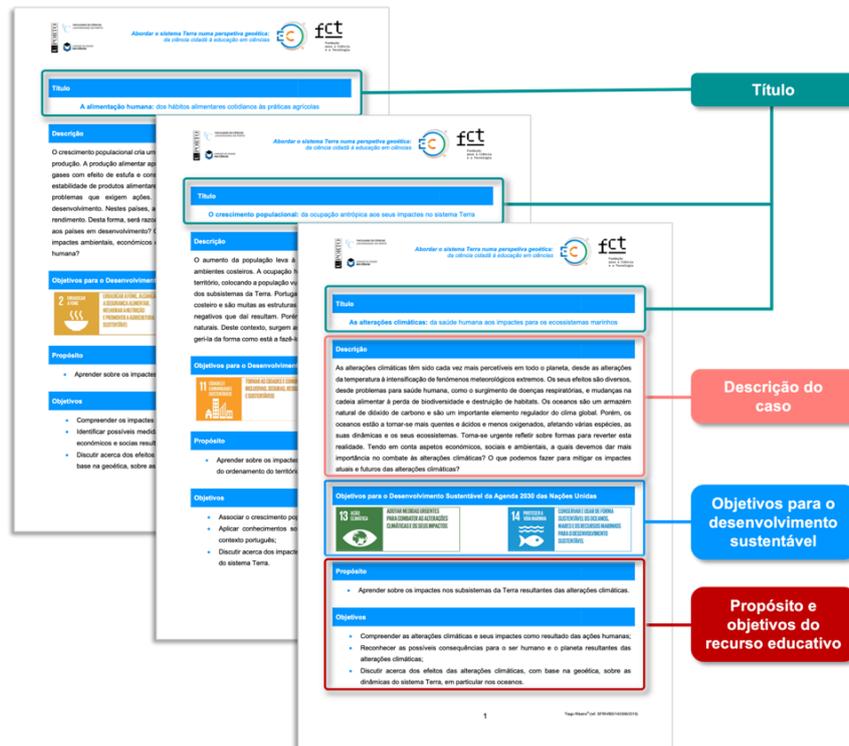


Figura 3. Estrutura da folha de rosto dos recursos educativos.

O caso, as questões orientadoras e o procedimento proposto em cada um dos três recursos educativos foram concebidos de forma a manter um padrão comum de complexidade e estrutura, garantindo, assim, uniformidade metodológica e coesão interna entre as propostas. Esta opção visou assegurar uma experiência de aprendizagem comparável entre recursos distintos, facilitando simultaneamente a sua implementação por diferentes facilitadores educativos e promovendo a consistência na abordagem dos temas.

Para complementar os recursos principais e enriquecer a dinâmica pedagógica, foram desenvolvidos materiais de suporte adicionais, em colaboração com os diferentes grupos de voluntários envolvidos no projeto. Estes materiais incluíram um total de quatro vídeos educativos, quatro jogos digitais interativos e uma aula de campo virtual, organizados de forma a serem distribuídos e articulados com os conteúdos de cada recurso educativo.

O material de suporte digital, como os vídeos ou a aula de campo virtual, encontra-se integrado nas margens dos recursos através de códigos QR. Esta opção permite destacar este tipo de conteúdos e garantir a sua acessibilidade imediata através de dispositivos móveis, como *smartphones* ou tablets, promovendo uma interação autónoma e fluida com os materiais complementares. Já os jogos digitais foram concebidos para ser utilizados através

da plataforma Kahoot![®], devendo ser iniciados na interface de “professor”, o que possibilita uma gestão ativa da atividade e uma mediação pedagógica orientada para a participação e reflexão coletiva. Na **Figura 4**, encontram-se destacados alguns elementos que permitem estratégias distintas de exploração dos conteúdos abordados nos recursos educativos desenvolvidos. Todos os recursos educativos eram acompanhados de um vídeo introdutório e de um vídeo específico de cada temática, sendo que o mesmo se aplicava aos jogos.

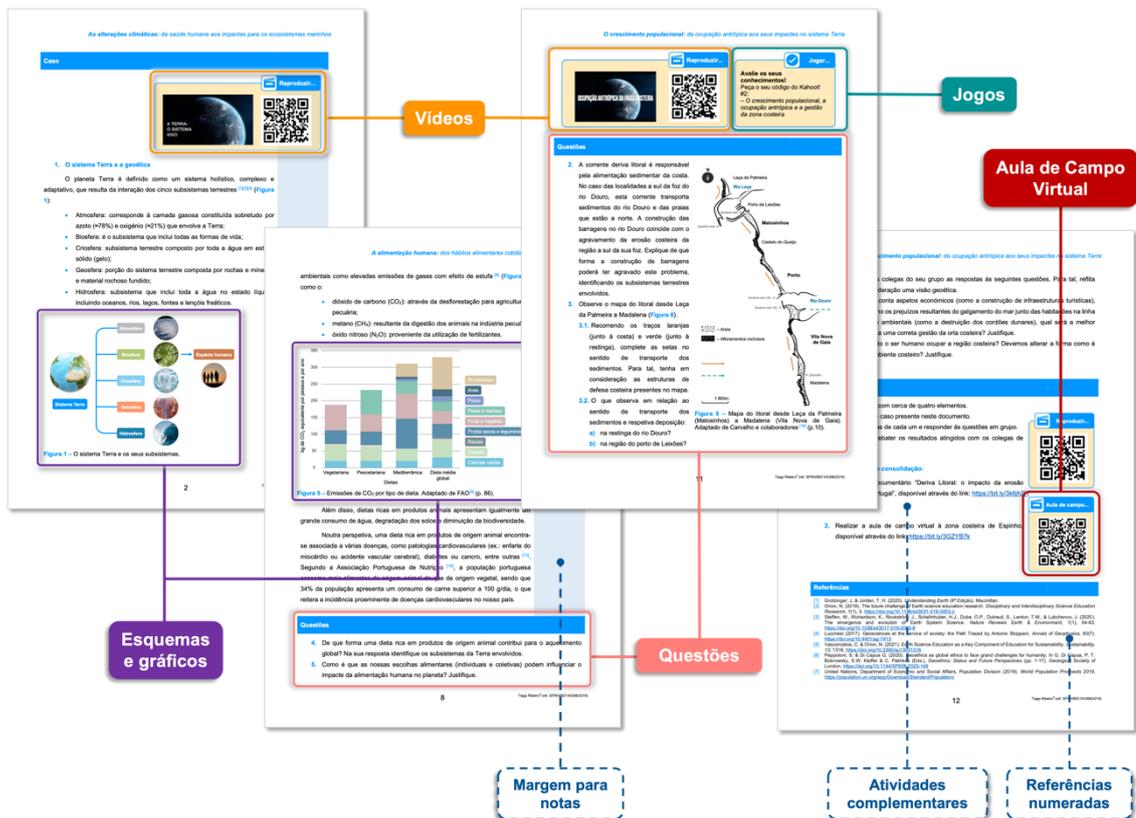


Figura 4. Elementos estruturais dos recursos educativos desenvolvidos.

No que respeita aos conteúdos abordados, os três recursos educativos incluem uma secção introdutória comum, dedicada ao enquadramento do da visão holística do sistema Terra e aos princípios fundamentais da geotica. Esta introdução visa fornecer a informação necessária para a adequada contextualização e interpretação das secções temáticas subsequentes, específicas de cada recurso educativo. Ao estabelecer um ponto de partida comum, procura-se garantir uma compreensão integrada dos fenómenos naturais e

humanos, promovendo uma abordagem holística e eticamente informada das questões em foco.

O primeiro recurso educativo (RE1) centra-se nas alterações climáticas, destacando a sua multiplicidade de impactos sobre os sistemas naturais e sociais. Entre os temas abordados incluem-se os efeitos na saúde humana, nomeadamente o aumento de doenças respiratórias e cardiovasculares associadas à poluição atmosférica, bem como a maior incidência de mortalidade ligada a fenómenos meteorológicos extremos, como vagas de calor, cheias ou tempestades intensas. A nível dos ecossistemas marinhos, explorou-se a problemática da desoxigenação e estratificação dos oceanos, fenómenos que comprometem a biodiversidade, afetando particularmente espécies pelágicas, como os tubarões, e perturbando cadeias alimentares marinhas essenciais.

O segundo recurso educativo (RE2) aborda as consequências do crescimento populacional ao nível do ordenamento do território, com especial enfoque na urbanização e artificialização intensiva das faixas costeiras. Este processo, amplamente visível em várias regiões do globo, acarreta riscos, nomeadamente a exposição acrescida das populações a perigos geológicos, como a erosão costeira associada à transgressão marinha. A construção em zonas vulneráveis compromete também o equilíbrio ecológico desses ecossistemas litorais. Como exemplo representativo, foi analisado o caso da faixa costeira da cidade de Espinho, na região Norte de Portugal, tendo este local sido selecionado para a aula de campo virtual, que complementa o recurso com uma abordagem mais aplicada e territorialmente situada.

O terceiro recurso educativo (RE3), embora também aborde o crescimento populacional, explora uma vertente distinta: a segurança alimentar. O foco incidiu sobre os desafios associados à alimentação da população mundial, em particular as pressões exercidas pelas indústrias agrícola e pecuária, cuja expansão tem contribuído significativamente para a desflorestação, a perda de biodiversidade e o aumento das emissões de gases com efeito de estufa. Estes fatores têm repercussões diretas no sistema climático e ecológico da Terra. O recurso introduz igualmente a noção de dieta sustentável, valorizando práticas alimentares que conciliem saúde humana e sustentabilidade ambiental, como é o caso da dieta mediterrânica, frequentemente referida como um exemplo de equilíbrio nutricional e baixo impacto ambiental.

Em conjunto, os três recursos educativos pretendem promover uma abordagem sistêmica e eticamente fundamentada das interações entre sociedade e natureza, contribuindo para o desenvolvimento de competências críticas e valores de cidadania ambiental dos cidadãos.

Considerações finais

Esta publicação procura explorar, de forma crítica e construtiva, a interligação entre a educação em ciências, a visão holística do sistema Terra e os princípios da geoética, a partir de uma abordagem integrada. Ao longo dos capítulos, é destacada a importância de promover aprendizagens e contextualizadas que valorizem o papel dos cidadãos como participantes ativos na construção de sociedades mais justas, resilientes e sustentáveis.

Através do desenvolvimento e aplicação de recursos educativos inovadores e inclusivos, dirigidos a públicos diversos – como adolescentes e seniores –, torna-se evidente o potencial da educação não-formal como espaço privilegiado para fomentar a literacia científica e o pensamento crítico. O envolvimento coletivo, aliado a metodologias ativas como a aprendizagem por casos, revela-se fundamental para reforçar a ligação entre ciência e sociedade, e para desenvolver competências e valores alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

Para além da dimensão cognitiva, a proposta educativa proposta ao longo desta publicação sublinha a necessidade de integrar a dimensão ética na compreensão e atuação sobre os sistemas naturais e sociais. A geoética, neste sentido, oferece um quadro orientador essencial para promover atitudes responsáveis, cooperativas e solidárias, orientadas pelo respeito pelos limites do planeta e pela dignidade das gerações presentes e futuras.

Num tempo marcado pela crise ambiental, pela desinformação e pela fragmentação social, esta publicação procura ser um contributo para repensar a educação em ciências como prática transformadora, promotora de uma cidadania ativa, crítica e comprometida com o desenvolvimento sustentável. Acredita-se que as propostas aqui apresentadas possam inspirar educadores, investigadores e cidadãos a continuar a construir pontes entre saber científico, consciência ética e ação coletiva.

Referências bibliográficas

- Anderson, E. & Schiano B. (2014). *Teaching with Cases: A Practical Guide*. Harvard Business School.
- Ben-Zvi-Assaraf, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of Earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560. <https://doi.org/10.1002/tea.20061>
- Ben-Zvi-Assaraf, O., & Orion, N. (2010). Four case studies, six years later: Developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1253-1280. <https://doi.org/10.1002/tea.20383>
- Bobrowsky, P., Cronin, V., Di Capua, G., Kieffer, S. W., & Peppoloni, S. (2018). The Emerging Field of Geoethics. In L. C. Gundersen (Ed.), *Scientific Integrity and Ethics: With Applications to the Geosciences*. AGU Spec Pub, 73, Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119067825.ch11>
- Bohle, M., & Marone, E. (2021). Geoethics, a branding for sustainable practices. *Sustainability*, 13(2), 895. <https://doi.org/10.3390/su13020895>
- Cardoso, A., Ribeiro, T., & Vasconcelos, C. (2018). What Is Inside the Earth? *Science & Education*, 27(7), 715-736. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-0003-y>
- Carr, A., Balasubramanian, K., Atieno, R., & Onyango, J. (2018). Lifelong learning to empowerment: beyond formal education. *Distance Education*, 39, 69 - 86. <https://doi.org/10.1080/01587919.2017.1419819>
- Crutzen, P. J. (2016). Geology of mankind. In P.J. Crutzen and H.G. Brauch (Eds.), Paul J. Crutzen: A Pioneer on Atmospheric Chemistry and Climate Change in the Anthropocene (pp. 211-215). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27460-7_10
- Darling-Hammond, L., & Hammerness, K. (2002). Toward a pedagogy of cases in teacher education. *Teaching Education*, 13(2), 125-135. <https://doi.org/10.1080/1047621022000007549>
- Di Capua, G., Peppoloni, S., & Bobrowsky, P. T. (2017). The Cape Town statement on geoethics. *Annals of Geophysics*, 60(7), 1-6. <https://doi.org/10.4401/ag-7553>

- Friess, D. A., Oliver, G. J. H., Quak, M. S. Y., & Lau, A. Y. A. (2016). Incorporating “virtual” and “real world” field trips into introductory geography modules. *Journal of Geography in Higher Education*, 40(4), 546-564. <https://doi.org/10.1080/03098265.2016.1174818>
- Garvin, D. (2003). Making the case – Professional education for the world of practice. *Harvard Magazine*, 106(1), 56–65.
- Haetinger, M.G. & Trindade, R. (2017). Educação, escola, criatividade e tecnologia: contributos para a conceitualização de um modelo pedagógico do século XXI. *Revista Intersaberes*, 12(25), 188-199. <https://doi.org/10.22169/revint.v12i25.1214>
- Herrera-Franco, G., Caicedo-Potosí, J., & Carrión-Mero, P. (2022). Geodiversity and biodiversity for conceptual synthesis. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. <https://doi.org/10.2495/sdp220321>
- Hussin, A. A. (2018). Education 4.0 made simple: Ideas for teaching. *International Journal of Education and Literacy Studies*, 6(3), 92-98. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijels.v.6n.3p.92>
- Keane, C. M., & Asher, P. (2021). Addressing the geoethics skills gap through co-curricular approaches. *Geological Society, London, Special Publications*, 508(1), 47-54. <https://doi.org/10.1144/SP508-2019-251>
- King, C. (2008). Geoscience education: an overview. *Studies in Science Education*, 44(2), 187-222. <https://doi.org/10.1080/03057260802264289>
- Kioupi, V., & Voulvoulis, N. (2019). Education for Sustainable Development: A Systemic Framework for Connecting the SDGs to Educational Outcomes. *Sustainability*, 11(21), 6104. <https://doi.org/10.3390/su1121610>
- La Belle, T. J. (1982). Formal, nonformal and informal education: A holistic perspective on lifelong learning. *International Review of Education*, 28(2), 159-175. <https://doi.org/10.1007/BF00598444>
- Laal, M., & Salamati, P. (2012). Lifelong learning; why do we need it?. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 31, 399-403.
- Laal, M., Laal, A., & Aliramaei, A. (2014). Continuing Education; Lifelong Learning. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 4052-4056. <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2014.01.889>

- Leininger-Frézal, C., & Sprenger, S. (2022). Virtual Field Trips in Binational Collaborative Teacher Training: Opportunities and Challenges in the Context of Education for Sustainable Development. *Sustainability*, 14(19), 12933. <https://doi.org/10.3390/su141912933>
- Marone, E., & Peppoloni, S. (2017). Ethical dilemmas in geosciences. We can ask, but, can we answer?. *Annals of Geophysics*, 60(7), 1-6. <https://doi.org/10.4401/ag-7445>
- Mayer, V. J. (1997). Guest editorial: Global science literacy: An Earth system view. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 101-105. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199702\)34:2<101::AID-TEA1>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199702)34:2<101::AID-TEA1>3.0.CO;2-X)
- Merseth, K. K. (1991). The early history of case-based instruction: Insights for teacher education today. *Journal of Teacher Education*, 42(4), 243-249. <https://doi.org/10.1177/002248719104200402>
- Mogk, D. W. (2017). Geoethics and Professionalism: The Responsible Conduct of Scientists. *Annals of Geophysics*, 60(7), 1-12. <https://doi.org/10.4401/ag-7584>
- Mogk, D. W., & Bruckner, M. Z. (2020). Geoethics training in the Earth and environmental sciences. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(2), 81-83. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0024-3>
- Mogk, D. W., Geissman, J. W., & Bruckner, M. Z. (2017). Teaching geoethics across the geoscience curriculum: why, when, what, how, and where?. In L.C. Gundersen (Ed.), *Scientific integrity and ethics in the geosciences* (pp.231-265). John Wiley & Sons.
- Moreno, R. (2010). *Educational Psychology*. John Wiley & Sons.
- Nygren, H., Nissinen, K., Hämäläinen, R., & Wever, B. (2019). Lifelong learning: Formal, non-formal and informal learning in the context of the use of problem-solving skills in technology-rich environments. *Br. J. Educ. Technol.*, 50, 1759-1770. <https://doi.org/10.1111/BJET.12807>
- OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) (2018). *The future of education and skills: Education 2030*. <https://shorturl.at/BUV67>
- Orion, N. (1993), A Model for the Development and Implementation of Field Trips as an Integral Part of the Science Curriculum. *School Science and Mathematics*, 93(6) 325-331. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1993.tb12254.x>

- Orion, N. (2002). An Earth Systems Curriculum Development Model. In V. J. Mayer (Ed.), *Global Science Literacy* (pp.159-168). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5818-9_11
- Orion, N. (2016). Earth Systems Education and the Development of Environmental Insight. In C. Vasconcelos (Ed.), *Geoscience Education: Indoor and Outdoor* (pp.59-72). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43319-6_4
- Orion, N. (2019). The future challenge of Earth science education research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0003-z>
- Orion, N., & Ault, C. (2007). Learning Earth Sciences. In S. Abell, & N. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 653-688). Lawrence Erlbaum Associates.
- Orion, N., & Libarkin, J. (2014). Earth system science education. In N.G. Lederman, & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, vol. II* (p.481-496). Routledge.
- Orion, N., Ben-Shalom, R., Ribeiro, T., & Vasconcelos, C. (2020). Geoethics in field-trips: a global geoethics perspective. In C. Vasconcelos, S. Schneider-Voß, & S. Peppoloni (Eds.), *Teaching Geoethics: Resources for Higher Education* (pp.19-29) U.Porto Edições. <https://doi.org/10.24840/978-989-746-254-2>
- Peppoloni, S., & Di Capua, G. (2020). Geoethics as global ethics to face grand challenges for humanity. In G. Di Capua, P. T. Bobrowsky, S. W. Kieffer & C. Palinkas (Eds.) *Geoethics: Status and Future Perspectives* (pp.1-17). The Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/SP508-2020-146>
- Peppoloni, S., & Di Capua, G. (2021). Current Definition and Vision of Geoethics. In M. Bohle & E. Marone (Eds.), *Geo-societal Narratives* (pp.17-27). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79028-8_2
- Peppoloni, S., & Di Capua, G. (2022). *Geoethics: Manifesto for an ethics of responsibility towards the Earth*. Springer Nature.
- Peters, M., & Romero, M. (2019). Lifelong learning ecologies in online higher education: Students' engagement in the continuum between formal and informal learning. *Br. J. Educ. Technol.*, 50, 1729-1743. <https://doi.org/10.1111/BJET.12803>
- Pritchard, A. (2018). *Ways of learning: Learning theories for the classroom* (4^a Ed.) Routledge.

- Ribeiro, T., & Orion, N. (2021). Educating for a Holistic View of the Earth System: A Review. *Geosciences*, 11(12), 485. <https://doi.org/10.3390/geosciences11120485>
- Ribeiro, T., & Vasconcelos, C. (2025). Earth System Science and Education: From Foundational Thoughts to Geoethical Engagement in the Anthropocene. *Geosciences*, 15(6), 224. <https://doi.org/10.3390/geosciences15060224>
- Sachs, J. D. (2015). *The age of sustainable development*. Columbia University Press. <https://bit.ly/3kCPfTv>
- Sachs, J. D., Lafortune, G., Kroll, C., Fuller, G., Woelm, F. (2022). *From Crisis to Sustainable Development: the SDGs as Roadmap to 2030 and Beyond*. Sustainable Development Report 2022. Cambridge University Press. <https://bit.ly/3Y7Ji3M>
- Saleumsouk, K., Phannolath, V., & Noonan, R. (2020). Non-formal Education and Lifelong Learning. , 143-162. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3319-8_6
- Scherer, H. H., Holder, L., & Herbert, B. (2017). Student Learning of Complex Earth Systems: Conceptual Frameworks of Earth Systems and Instructional Design. *Journal of Geoscience Education*, 65(4), 473-489. <https://doi.org/10.5408/16-208.1>
- Soltis, N. A., & McNeal, K. S. (2022). Development and Validation of a Concept Inventory for Earth System Thinking Skills. *Journal for STEM Education Research*, 5(1), 28-52. <https://doi.org/10.1007/s41979-021-00065-z>
- Soltis, N. A., McNeal, K. S., & Schnittka, C. G. (2021). Understanding undergraduate student conceptions about biogeochemical cycles and the earth system. *Journal of Geoscience Education*, 69(3), 265-280. <https://doi.org/10.1080/10899995.2020.1858267>
- Teles, N., Ribeiro, T., & Vasconcelos, C. (2024). Exploring the Golden Ratio in Nature by Using a STEAM Approach: A Diagnostic and Quasi-Experimental Study at a Senior University. *Education Sciences*, 14(7), 705. <https://doi.org/10.3390/educsci14070705>
- Teles, N.; Ribeiro, T. & Vasconcelos, C. (2025). Science Education and Interdisciplinarity: Current Practices and Future Pathways. In *Filodiritto Editore – 15th International Conference The Future of Education – Hybrid Edition*, p. 168.175.
- Thwe, W., & Kálmán, A. (2023). Lifelong Learning in the Educational Setting: A Systematic Literature Review. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 1 - 11. <https://doi.org/10.1007/s40299-023-00738-w>

- Trindade, R. & Cosme, A. (2016). Instruir, aprender ou comunicar: Reflexão sobre os fundamentos das opções pedagógicas perspectivadas a partir do ato de ensinar. *Revista Diálogo Educacional*, 16(50), 1031-1051. <https://doi.org/10.7213/1981-416X.16.050.AO01>
- United Nations (2015). *Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development* (A/RES/70/1). <https://shorturl.at/esuZ6>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (2016). Education 2030: Incheon Declaration and Framework for Action for the implementation of Sustainable Development Goal 4 (ED-2016/WS/28). http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/education-2030-incheon-framework-for-action-implementation-of-sdg4-2016-en_2.pdf
- Valladares, L. (2021). Scientific Literacy and Social Transformation. *Science & Education*, 30, 557 - 587. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2>
- Vasconcelos, C. (Ed.) (2016). *Geoscience Education: Indoor and Outdoor*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-43319-6>
- Vasconcelos, C., & Orion, N. (2021). Earth Science Education as a Key Component of Education for Sustainability. *Sustainability*, 13, 1316. <https://doi.org/10.3390/su13031316>
- Vasconcelos, C., Ribeiro, T., Cardoso, A., Orion, N., & Ben-Shalom, R. (2020). The Theoretical Framework Underpinning Geoethical Educational Resources. In C. Vasconcelos, S. Schneider-Voß & S. Peppoloni (Eds.), *Teaching Geoethics: Resources for Higher Education* (pp.21-30). U.Porto Edições. <https://doi.org/10.24840/978-989-746-254-2>
- Worldometer (2023). *Current World Population*. <https://www.worldometers.info/world-population/>

Apêndice 1 – Recurso Educativo 1

Título

As alterações climáticas: da saúde humana aos impactes para os ecossistemas marinhos

Descrição

As alterações climáticas têm sido cada vez mais perceptíveis em todo o planeta, desde as alterações da temperatura à intensificação de fenómenos meteorológicos extremos. Os seus efeitos são diversos, desde problemas para saúde humana, como o surgimento de doenças respiratórias, e mudanças na cadeia alimentar à perda de biodiversidade e destruição de habitats. Os oceanos são um armazém natural de dióxido de carbono e são um importante elemento regulador do clima global. Porém, os oceanos estão a tornar-se mais quentes e ácidos e menos oxigenados, afetando várias espécies, as suas dinâmicas e os seus ecossistemas. Torna-se urgente refletir sobre formas para reverter esta realidade. Tendo em conta aspetos económicos, sociais e ambientais, a quais devemos dar mais importância no combate às alterações climáticas? O que podemos fazer para mitigar os impactes atuais e futuros das alterações climáticas?

Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas



Propósito

- Aprender sobre os impactes nos subsistemas da Terra resultantes das alterações climáticas.

Objetivos

- Compreender as alterações climáticas e seus impactes como resultado das ações humanas;
- Reconhecer as possíveis consequências para o ser humano e o planeta resultantes das alterações climáticas;
- Discutir acerca dos efeitos das alterações climáticas, com base na geoética, sobre as dinâmicas do sistema Terra, em particular nos oceanos.

Caso



1. O sistema Terra e a geoética

O planeta Terra é definido como um sistema holístico, complexo e adaptativo, que resulta da interação dos cinco subsistemas terrestres ^{[1][2][3]} (Figura 1):

- Atmosfera: corresponde à camada gasosa constituída sobretudo por azoto (78%) e oxigénio (21%) que envolve a Terra;
- Biosfera: é o subsistema que inclui todas as formas de vida;
- Criosfera: subsistema terrestre composto por toda a água em estado sólido (gelo);
- Geosfera: porção do sistema terrestre composta por rochas e minerais e material rochoso fundido;
- Hidrosfera: subsistema que inclui toda a água no estado líquido, incluindo oceanos, rios, lagos, fontes e lençóis freáticos.

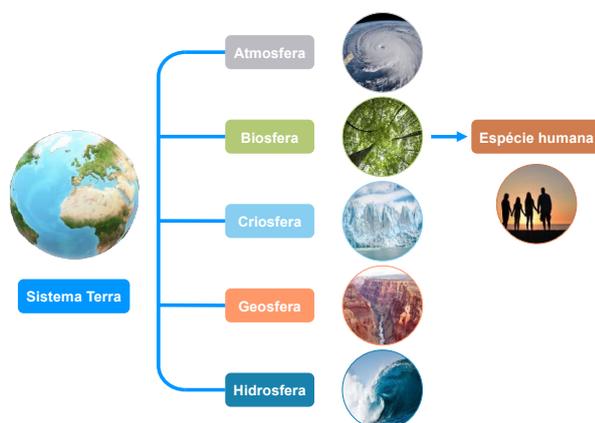


Figura 1 – O sistema Terra e os seus subsistemas.

As alterações climáticas: da saúde humana aos impactes para os ecossistemas marinhos

Estes subsistemas interrelacionam-se e são interconectados e interdependentes, partilhando ciclos de matéria e fluxos de energia^[2]. Desta noção, é possível depreender que ações praticadas num determinado subsistema irão desencadear respostas nos restantes.

A espécie humana inclui-se no sistema Terra e é capaz de alterar as suas dinâmicas através das suas ações, sendo considerada como um “agente geológico”^{[4][5]}. Assim, as ações humanas sobre o sistema Terra devem ser refletidas de forma a acautelar possíveis impactes negativos.

Um dos maiores desafios para o século XXI é a existência da espécie humana em harmonia com o sistema Terra, reconhecendo que o ser humano impacta e é impactado pelas dinâmicas terrestres^[2].

A reflexão sobre as interações entre o ser humano e o planeta é o objeto de estudo da geoética. Esta área recente cruza conhecimentos das geociências, filosofia, economia e sociologia (Figura 2) e debruça-se sobre a investigação e reflexão de um conjunto de valores (Tabela 1) que permitem contextualizar e harmonizar as ações humanas em relação ao planeta^[6].

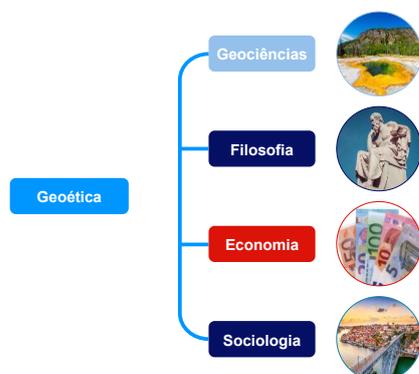


Figura 2 – A geoética e a sua interdisciplinaridade.

Através da aplicação da geoética nas tomadas de decisão diárias será possível entender a magnitude das ações humanas e o papel da sociedade para a sustentabilidade planetária.

Tabela 1 – Valores geoéticos: éticos, sociais e culturais.

VALORES GEOÉTICOS		
Éticos	Sociais	Culturais
Integridade		
Responsabilidade		
Consciencialização		
Honestidade		Valor intrínseco das geociências
Cooperação	Sustentabilidade	
Inclusão		Geodiversidade
Cortesia	Prevenção	
Justiça		Paisagem geológica
Liberdade de ação	Educação	
Transparência		Património geológico
Humildade		
Respeito		



Avalie os seus conhecimentos!
Peça o seu código do Kahoot! #1:
– O sistema Terra e a geoética

2. Alterações climáticas

As alterações climáticas são causadas em grande parte pelas atividades humanas, especialmente devido à combustão de combustíveis fósseis e à desflorestação [7]. Por todo o planeta, as alterações climáticas têm sido cada vez mais perceptíveis. Estas alterações não se evidenciam uniformemente por toda a Terra, sendo que Portugal é dos países europeus mais vulnerável aos seus impactes [8].

Portugal apresenta um clima mediterrâneo. Este é descrito por verões quentes e secos e invernos frios e húmidos [9]. Entre 1976 e 2006, a temperatura no território português aumentou mais de 0,5°C em cada década, o que é o dobro do aumento da temperatura quando comparado com a média global no mesmo período [9]. As alterações climáticas aqui sentidas incluem, por exemplo, a alteração dos

As alterações climáticas: da saúde humana aos impactes para os ecossistemas marinhos

valores médios da temperatura e de precipitação. Estas mudanças condicionam a frequência e intensidade de eventos meteorológicos extremos, como cheias, secas ou ondas de calor ^{[8][10]}, afetando a espécie humana (Figura 3).



Figura 3 – Algumas consequências das alterações climáticas: cheias, secas e ondas de calor.

2.1. As alterações climáticas e a saúde humana

As alterações climáticas impactam a saúde humana e nas próximas décadas os seus efeitos colocarão a vida e o bem-estar de milhões de pessoas em risco ^[11]. O bem-estar humano depende da capacidade deste se adaptar e responder às mudanças ambientais ^[12].

As alterações climáticas apresentam consequências para a saúde humana, uma vez que podem alterar a distribuição e o nível de virulência de vários vetores infecciosos ^[12], para além de mortes ou doenças – como asma ou outras doenças do trato respiratório e irritações oculares –, provocadas por eventos extremos e poluição ^{[13][14]}. Adicionalmente, as alterações climáticas podem implicar mudanças na distribuição de algumas espécies – o que poderá afetar as cadeias alimentares e, consequentemente, as redes de distribuição de bens e serviços ^[12].

Para além das consequências já mencionadas, as alterações climáticas apresentam também efeitos como a extinção de espécies, devido a mudanças ambientais demasiado céleres para que as espécies se adaptem ou evoluam, ou oceanos menos produtivos e mais estratificados ^[15].

Questões

1. Indique e explique duas relações entre dois subsistemas da Terra que resulte das alterações climáticas. (Exemplo: A intensificação da poluição por emissão de gases com efeito estufa [atmosfera] conduz ao aumento da temperatura e ao degelo das calotes polares [criosfera].)
2. Como é que o aumento de eventos meteorológicos extremos, resultante das alterações climáticas, poderá afetar a saúde humana?

Continuação do caso

2.2. As alterações climáticas e suas consequências nos oceanos

A maioria da vida existente no oceano encontra-se a mais de 200 m de profundidade. Os oceanos são extremamente importantes na regulação do clima da Terra, uma vez que absorvem dióxido de carbono (CO_2) e influenciam a temperatura (pois absorvem radiação solar e CO_2 e contribuem fortemente para a evaporação no ciclo da água), contribuindo para a diminuição da concentração de gases com efeito de estufa, como o CO_2 (Figura 4). Contudo, o aumento da concentração de gases de efeito de estufa processo conduz ao aumento de temperatura, acidez e desoxigenação do oceano, o que poderá provocar a diminuição da biodiversidade deste local ^[16].

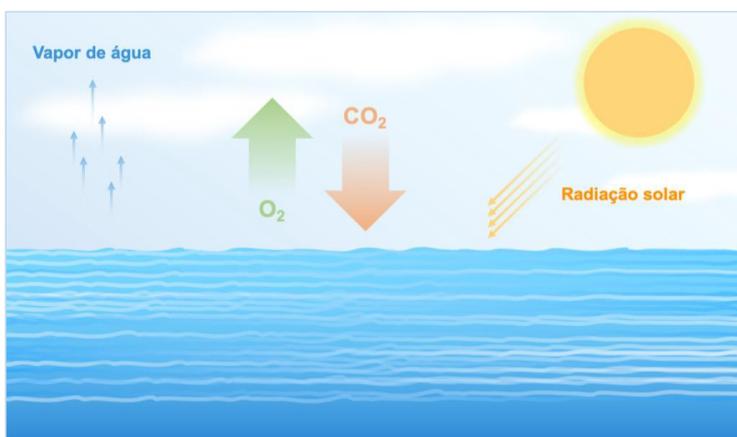


Figura 4 – Interações entre o oceano (hidrosfera) e a atmosfera.

A acidificação do oceano à superfície é provocada pela absorção do CO_2 e respetiva reação com a água (H_2O), aumentando a concentração do catião de hidrogénio (H^+) e diminuindo o pH do oceano [17]. Estima-se que desde a revolução industrial, a concentração de H^+ aumentou 30%, a que corresponde a uma diminuição de 0,1 do pH [18]. O aumento de acidez é também provocado pela oxidação da matéria orgânica proveniente da sua decomposição. O aumento da temperatura leva à desoxigenação do oceano [16].

A desoxigenação do oceano consiste na diminuição da concentração de oxigénio. Esta deve-se ao aumento de temperatura e tem como consequências a estratificação da água e alterações da sua circulação, por exemplo [19]. A desoxigenação do oceano leva à expansão das zonas de oxigénio mínimo – apresentam baixas concentrações de oxigénio (hipóxicas). A expansão vertical destas zonas provoca têm vários impactes como: i) alterações nos processos de circulação dos nutrientes e fluxos de gases; ii) mudanças nas dinâmicas entre predadores e presas; iii) alterações na distribuição, abundância e risco de captura de espécies importantes. A expansão destas zonas tem especial impacte na pesca e na dinâmica dos predadores de topo, pois comprime o habitat dos seres pelágicos (seres que habitam em mar aberto), como algumas espécies de tubarões, obrigando-os a habitar zonas mais superficiais [19] (Figura 5).

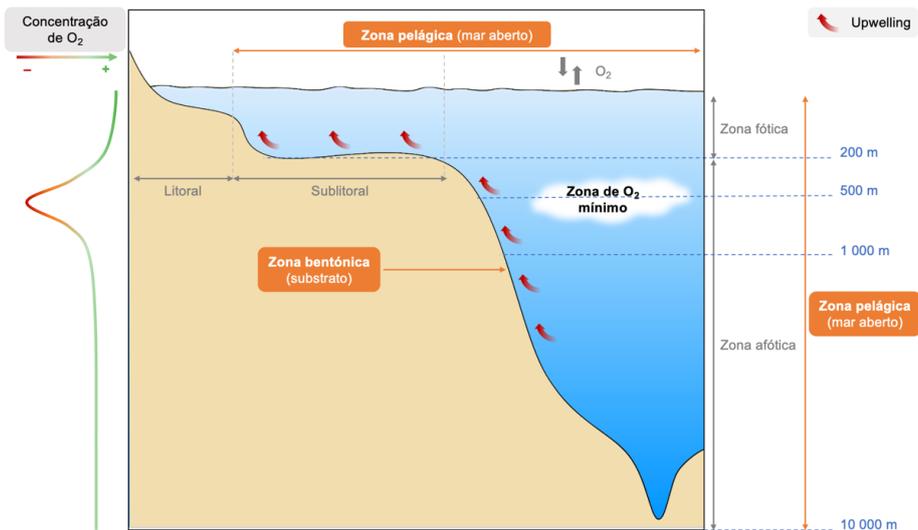


Figura 5 – Zonamento do ambiente marinho pelágico e bentónico, zona de oxigénio mínimo e área fótica e afótica.

Questões

3. De que forma a desoxigenação dos oceanos afetará as cadeias tróficas?
4. Por que razão o aumento da acidez dos oceanos coloca em risco as estruturas carbonatadas dos corais?

Continuação do Caso

NOTÍCIA:

DESOXIGENAÇÃO DO ATLÂNTICO ESTÁ A EMPURRAR OS TUBARÕES PARA SUPERFÍCIE

Num estudo publicado na revista eLife, uma equipa maioritariamente composta por investigadores do CIBIO-InBIO (...) alerta que a desoxigenação da água causada pelas alterações climáticas está a levar o tubarão azul a utilizar águas mais superficiais, tornando-o mais vulnerável à pesca. É sabido que as alterações climáticas estão a causar uma redução do oxigénio dissolvido na água, um processo conhecido como desoxigenação dos oceanos. Este processo tem provocado a expansão tanto horizontal como vertical de zonas mais profundas que permanecem com baixa concentração de oxigénio, conhecidas por zonas de oxigénio mínimo (ZOM), podendo alterar a distribuição e colocar mesmo em perigo espécies de grande porte que necessitam de elevadas concentrações de oxigénio. Através deste estudo, foi possível demonstrar que a expansão da zona de oxigénio mínimo localizada no Nordeste Atlântico (próxima de Cabo Verde) está a comprimir o habitat do tubarão azul. Ao evitarem profundidades com menor concentração de oxigénio, os tubarões permanecem mais à superfície, aumentando assim a probabilidade de serem capturados pela atividade pesqueira.

(...) Nuno Queiroz, investigador do CIBIO-InBIO que co-liderou o estudo, sublinha que a captura potencialmente mais fácil desta espécie “deverá aumentar no futuro se continuarmos a assistir a uma expansão destas zonas com baixa concentração de oxigénio”. Apesar de se tratar de uma espécie em risco, existem poucas restrições à captura do tubarão azul em qualquer parte do mundo.

(...) O tubarão azul é uma espécie comercialmente importante devido sobretudo às suas barbatanas. Esta espécie perfaz cerca de 90% do total das capturas

As alterações climáticas: da saúde humana aos impactes para os ecossistemas marinhos

reportadas no Atlântico, e, no entanto, está classificada como “Quase Ameaçada” pela IUCN, existindo poucas restrições à sua captura a nível mundial.

“Estes resultados defendem a necessidade de medidas de gestão para mitigar os efeitos da desoxigenação dos oceanos nas capturas de tubarões, que são aparentemente substanciais acima de águas profundas pouco oxigenadas” alerta David Sims, coordenador principal do Projeto Global Shark Movement e que coliderou também este estudo. O também investigador da Marine Biological Association e professor de Ecologia Marinha na Universidade de Southampton (Reino Unido) acrescenta ainda que “Áreas marinhas protegidas circundantes de zonas de oxigénio mínimo podem ser necessárias para garantir a proteção de tubarões no futuro com a contínua desoxigenação dos oceanos”. Desde 2005 que os tubarões são estudados pelo CIBIO-InBIO pelo investigador Nuno Queiroz. O presente trabalho será integrado no projeto OCEAN DEOXYFISH, financiado pela European Research Council (ERC), que irá continuar a providenciar uma visão crucial sobre os efeitos da desoxigenação dos oceanos em predadores de topo como os tubarões e atuns.

(Lima, 2021 ^[20])

 Reproduzir...



 Jogar...

Avalie os seus conhecimentos!

Peça o seu código do Kahoot! #2:

– As alterações climáticas e as suas consequências na saúde humana e nos oceanos

Questões

5. Explique de que forma as atividades humanas impactam os seres vivos pelágicos (como os tubarões). Na sua resposta identifique os subsistemas da Terra envolvidos.
6. Atualmente, os oceanos estão a tornar-se mais quentes e ácidos e menos oxigenados devido a ações antropogénicas. De que forma a espécie humana pode reverter esta situação?

As alterações climáticas: da saúde humana aos impactes para os ecossistemas marinhos

7. Discuta com os colegas do seu grupo as respostas às seguintes questões. Para tal, reflita tendo em consideração uma visão geotética.
 - 7.1. Tendo em conta aspetos económicos (como as perdas económicas resultantes da destruição de colheitas agrícolas), sociais (como a alteração da virulência de vetores infecciosos) e ambientais (como a destruição de ecossistemas), qual será a melhor solução para o combate às alterações climáticas? Justifique.
 - 7.2. O que podemos fazer, individual e coletivamente, para mitigar os impactes atuais e futuros das alterações climáticas? Justifique.

Procedimento

1. Formar grupos com cerca de quatro elementos.
2. Ler e analisar o caso presente neste documento.
3. Discutir as ideias de cada um e responder às questões em grupo.
4. Comunicar e debater os resultados atingidos com os colegas de outros grupos.



Atividade de síntese e consolidação: visualizar o vídeo “Factos sobre o oceano”, disponível através do link: <https://bit.ly/3q7n4R2>

Referências

- [1] Grotzinger, J. & Jordan, T. H. (2020). *Understanding Earth (8ª Edição)*. Macmillan.
- [2] Orion, N. (2019). The future challenge of Earth science education research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0003-z>
- [3] Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Schellnhuber, H.J., Dube, O.P., Dutreuil, S., Lenton, T.M., & Lubchenco, J. (2020). The emergence and evolution of Earth System Science. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(1), 54-63. <https://doi.org/10.1038/s43017-019-0005-6>
- [4] Lucchesi (2017). Geosciences at the service of society: the Path Traced by Antonio Stoppani. *Annals of Geophysics*, 60(7). <https://doi.org/10.4401/ag-7413>
- [5] Vasconcelos, C. & Orion, N. (2021). Earth Science Education as a Key Component of Education for Sustainability. *Sustainability*, 13, 1316. <https://doi.org/10.3390/su13031316>
- [6] Peppoloni, S. & Di Capua G. (2020). Geoethics as global ethics to face grand challenges for humanity. In G. Di Capua, P. T. Bobrowsky, S.W. Kieffer & C. Palinkas (Eds.), *Geoethics: Status and Future Perspectives* (pp. 1-17). Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/SP508-2020-146>
- [7] Patz, J.A., Frumkin, H., Holloway, T., Vimont, D.J., & Haines, A. (2014). Climate change: challenges and opportunities for global health. *JAMA*, 312(15), 1565-1580. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.13186>
- [8] APA (Agência Portuguesa do Ambiente) (2021). *Clima*. <https://www.apambiente.pt/clima>
- [9] Carvalho, A., Schmidt, L., Santos, F.D., & Delicado, A. (2014). Climate change research and policy in Portugal. *WIREs Climate Change*, 5(2), 199-217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wcc.258>
- [10] Carvalho, D., Martins, H., Marta-Almeida, M., Rocha, A., & Borrego, C.J.U.C. (2017). Urban resilience to future urban heat waves under a climate change scenario: A case study for Porto urban area (Portugal). *Urban Climate*, 19, 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.11.005>
- [11] World Health Organization. (2014). *Gender, climate change and health*. World Health Organization.
- [12] Pecl, G.T., Araujo, M.B., Bell, J.D., Blanchard, J., Bonebrake, T.C., Chen, I.-C., Clark, T.D., ..., Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332), eaai9214. <https://doi.org/doi:10.1126/science.aai9214>
- [13] Casimiro, E., Calheiros, J., Santos, F.D., & Kovats, S. (2006). National assessment of human health effects of climate change in Portugal: approach and key findings. *Environmental health perspectives*, 114(12), 1950-1956. <https://doi.org/10.1289/ehp.8431>
- [14] McMichael, A.J. (2009). Climate change in Australia: risks to human wellbeing and health. Austral Special Report. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1045.786&rep=rep1&type=pdf>
- [15] McNutt, M. (2013). Climate Change Impacts. *Science*, 341(6145), 435-435. <https://doi.org/doi:10.1126/science.1243256>

As alterações climáticas: da saúde humana aos impactes para os ecossistemas marinhos

- [16] Levin, L.A., & Le Bris, N. (2015). The deep ocean under climate change. *Science*, 350(6262), 766–768. <https://doi.org/10.1126/science.aad0126>
- [17] Hoegh-Guldberg, O., Poloczanska, E.S., Skirving, W., & Dove, S. (2017). Coral Reef Ecosystems under Climate Change and Ocean Acidification. *Frontiers in Marine Science*, 4(158). <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00158>
- [18] Yool, A., Popova, E.E., Coward, A.C., Bernie, D., & Anderson, T.R. (2013). Climate change and ocean acidification impacts on lower trophic levels and the export of organic carbon to the deep ocean. *Biogeosciences*, 10(9), 5831-5854. <https://doi.org/10.5194/bg-10-5831-2013>
- [19] Vedor, M., Queiroz, N., Mucientes, G., Couto, A., Costa, I., Santos, A., Vandeperre, F., Fontes, J., Afonso, P., Rosa, R., Humphries, N. E., & Sims, D. W. (2021). Climate-driven deoxygenation elevates fishing vulnerability for the ocean's widest ranging shark. *eLife*, 10, e62508. <https://doi.org/10.7554/eLife.62508>
- [20] Lima, V. (2021, janeiro 25). Alterações climáticas trazem tubarões para a superfície. <https://noticias.up.pt/alteracoes-climaticas-trazem-tubaroes-para-a-superficie/>



Este recurso educativo foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através da bolsa de doutoramento "Abordar o sistema Terra numa perspectiva geológica: da ciência cidadã à educação em ciências" (ref. SFRH/BD/143306/2019).

Apêndice 2 – Recurso Educativo 2

Título

O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactes no sistema Terra

Descrição

O aumento da população leva à ocupação humana de locais de grande importância, como os ambientes costeiros. A ocupação humana nestes locais provoca sérios desafios de ordenamento do território, colocando a população vulnerável a riscos naturais e alterando profundamente as dinâmicas dos subsistemas da Terra. Portugal é um país bastante exposto a estes problemas de ordenamento costeiro e são muitas as estruturas de defesa costeira construídas no sentido de mitigar os impactes negativos que daí resultam. Porém, estas estruturas implicam grandes mudanças nos processos naturais. Deste contexto, surgem as questões: Será correto o ser humano ocupar a região costeira e geri-la da forma como está a fazê-lo atualmente?

Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas



Propósito

- Aprender sobre os impactes antropogénicos nos subsistemas da Terra resultantes da gestão do ordenamento do território costeiro.

Objetivos

- Associar o crescimento populacional a problemas ambientais e de ordenamento do território;
- Aplicar conhecimentos sobre a ocupação antrópica e estruturas de defesa costeira no contexto português;
- Discutir acerca dos impactes antrópicos, com base na geoética, sobre as dinâmicas costeiras do sistema Terra.

Caso

Reproduzir...



1. O sistema Terra e a geoética

O planeta Terra é definido como um sistema holístico, complexo e adaptativo, que resulta da interação dos cinco subsistemas terrestres ^{[1][2][3]} (Figura 1):

- Atmosfera: corresponde à camada gasosa constituída sobretudo por azoto (78%) e oxigénio (21%) que envolve a Terra;
- Biosfera: é o subsistema que inclui todas as formas de vida;
- Criosfera: subsistema terrestre composto por toda a água em estado sólido (gelo);
- Geosfera: porção do sistema terrestre composta por rochas e minerais e material rochoso fundido;
- Hidrosfera: subsistema que inclui toda a água no estado líquido, incluindo oceanos, rios, lagos, fontes e lençóis freáticos.

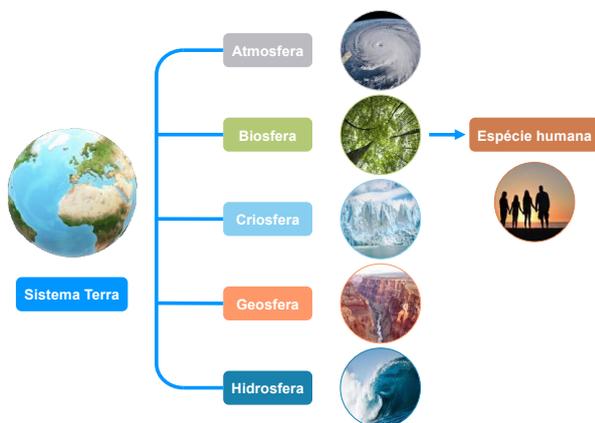


Figura 1 – O sistema Terra e os seus subsistemas.

O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactos no sistema Terra

Estes subsistemas interrelacionam-se e são interconectados e interdependentes, partilhando ciclos de matéria e fluxos de energia [2]. Desta noção, é possível depreender que ações praticadas num determinado subsistema irão desencadear respostas nos restantes.

A espécie humana inclui-se no sistema Terra e é capaz de alterar as suas dinâmicas através das suas ações, sendo considerada como um “agente geológico” [4][5]. Assim, as ações humanas sobre o sistema Terra devem ser refletidas de forma a acautelar possíveis impactos negativos.

Um dos maiores desafios para o século XXI é a existência da espécie humana em harmonia com o sistema Terra, reconhecendo que o ser humano impacta e é impactado pelas dinâmicas terrestres [2].

A reflexão sobre as interações entre o ser humano e o planeta é o objeto de estudo da geoética. Esta área recente cruza conhecimentos das geociências, filosofia, economia e sociologia (Figura 2) e debruça-se sobre a investigação e reflexão de um conjunto de valores (Tabela 1) que permitem contextualizar e harmonizar as ações humanas em relação ao planeta [6].

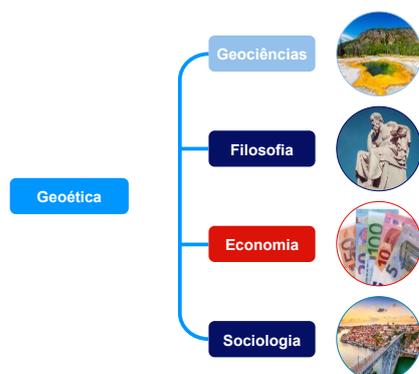


Figura 2 – A geoética e a sua interdisciplinaridade.

Através da aplicação da geoética nas tomadas de decisão diárias será possível entender a magnitude das ações humanas e o papel da sociedade para a sustentabilidade planetária.

Tabela 1 – Valores geoéticos: éticos, sociais e culturais.

VALORES GEOÉTICOS		
Éticos	Sociais	Culturais
Integridade		
Responsabilidade		
Conscientização		
Honestidade		Valor intrínseco das geociências
Cooperação	Sustentabilidade	
Inclusão		Geodiversidade
Cortesia	Prevenção	
Justiça		Paisagem geológica
Liberdade de ação	Educação	
Transparência		Património geológico
Humildade		
Respeito		



Avalie os seus conhecimentos!
Peça o seu código do Kahoot! #1:
– O sistema Terra e a geoética

2. O crescimento populacional e a ocupação antrópica

A espécie humana cresceu exacerbadamente, passando de cerca de 2,5 mil milhões de pessoas em 1950 para 7,8 mil milhões em 2020, com tendência para aumentar. Estima-se que em 2100, existam na Terra aproximadamente 10,9 mil milhões de pessoas^[7] (Figura 3).

O crescimento populacional depende da taxa de natalidade, de mortalidade, de fertilidade e da migração. Estes fatores são influenciados pela educação, religião, acesso a métodos contraceptivos e cuidados de saúde, estabilidade política, fornecimento alimentar, entre outros^{[8][9]}.

O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactos no sistema Terra

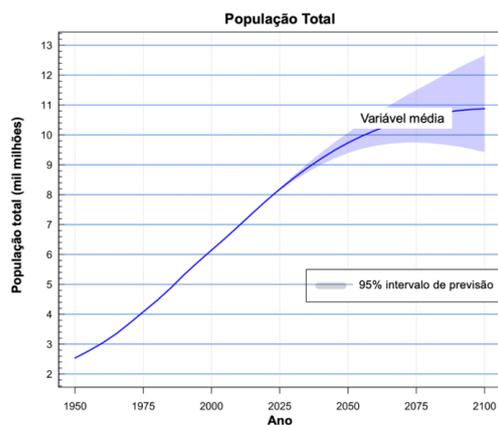


Figura 3 – Projeção da variação da população entre os anos 1950-2100. Adaptado de United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Dynamics^[7].

O aumento da população representa grandes desafios a nível ambiental, uma vez que há um maior consumo de recursos naturais e maior poluição (com todas as consequências que daí advém), colocando em risco o futuro das gerações vindouras^{[8][9]}. Os padrões de vida atuais, elevam ainda mais esta pressão sobre o sistema Terra. Alguns dos efeitos do crescimento populacional excessivo são^[9] (Figura 4):



Figura 4 – Algumas consequências do crescimento populacional.

O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactos no sistema Terra

Adicionalmente, a saída de cidadãos dos meios rurais para as cidades (êxodo rural), intensifica estes efeitos em determinados locais do planeta. Esta migração resulta em graves problemas de ordenamento do território, com a criação de aglomerados populacionais insustentáveis, incontroláveis e com elevada densidade populacional^[9]. Estima-se que em 2050, 66% da população mundial viva em zonas urbanas^[10]. No início do século XX, existiam 16 cidades com mais de um milhão de pessoas^[11]. No início do século XXI, este número ascendeu para cerca de 270 cidades, sendo que estas são sobretudo de países em desenvolvimento^[12]. Compreender os padrões de distribuição humana é imperativo para conseguir entender as relações entre o ser humano e o ambiente, sendo que estes padrões de distribuição humana dependem de fatores físicos, sociais, económicos e culturais^[13].

O crescimento da população humana traduz-se num aumento da ocupação antrópica. Esta não é constante em todas as regiões do planeta, uma vez que a distribuição das grandes cidades está concentrada maioritariamente no litoral^[14] (Figura 5).

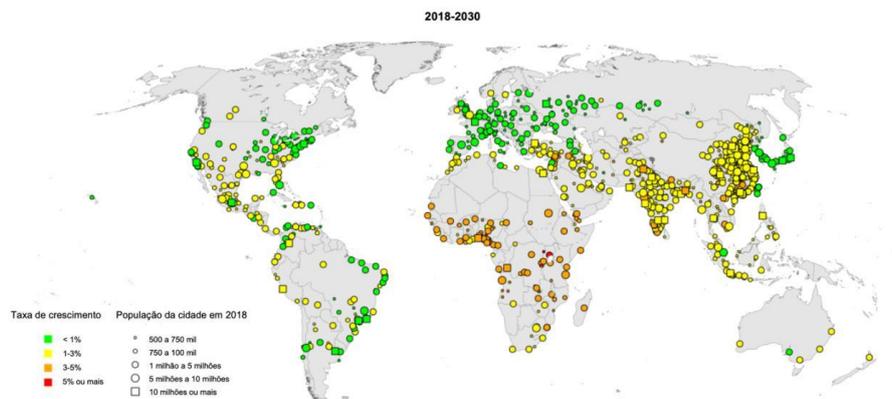


Figura 5 – Distribuição mundial das cidades segundo a dimensão populacional. Adaptado de United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Dynamics (2018).

Há uma maior densidade populacional dentro de um perímetro de 100 km da linha de costa e a uma altitude inferior a 200 m, refletindo a maior presença de áreas urbanas junto ao litoral e rios navegáveis. Estas áreas constituem a interface entre a terra-oceano e entre rio-oceano, apresentando elevado valor ecológico e económico^[15]. No interior dos continentes, a distribuição humana relaciona-se com

O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactos no sistema Terra

a agricultura, localizando-se em locais férteis, como as imediações de vales e deltas de rios, pois são locais onde existe uma maior sedimentação ^[13]. A crescente ocupação humana conduz à construção de infraestruturas e intensificação da prática agrícola, resultando, por exemplo, no aumento da malha urbana (criando áreas impermeáveis), desflorestação e alterações no solo, modificando as dinâmicas dos subsistemas terrestres.

Questões

1. As cidades estão em constante mutação, sendo resultado da influência da globalização e sustentabilidade ambiental, económica e social ^[16]. Porém, as cidades são locais que apresentam grandes problemas ambientais.
 - 1.1. Qual é a relação entre o crescimento populacional e os problemas ambientais que enfrentamos?
 - 1.2. Identifique e explique uma relação entre dois subsistemas da Terra que resulte do crescimento populacional. (Exemplo: O crescimento populacional humano [biosfera] leva à intensificação da extração de recursos minerais [geosfera].)
 - 1.3. Identifique dois riscos naturais inerentes à localização preferencial no litoral das maiores cidades como descrito na **Figura 5**.

Continuação do caso

2.1. A ocupação antrópica e o risco geológico

É observável a ocupação humana em locais com risco geológico como zonas fluviais (junto aos rios), costeiras (junto ao mar) e de vertente (junto a locais com elevado desnível topográfico). A ocupação antrópica nestes locais coloca a população em vulnerabilidade face a riscos geológicos como cheias, erosão costeira e movimentos de massa ^[14]. O agravamento das consequências das catástrofes naturais resulta de uma maior exposição e vulnerabilidade da população em relação ao risco ^[17]. É assim necessário um cuidado especial no que se refere ao ordenamento do território e proteção civil.

A erosão costeira é um grave problema em Portugal, sendo que no século XIX foram contruídas as primeiras estruturas de defesa costeira em Espinho. Estes fatores explicam a construção de várias estruturas como esporões ou paredões (entre outras) presentes em Portugal ^[17].

O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactes no sistema Terra

Portugal é um país com uma grande extensão costeira, ao longo da qual se situam a maioria das grandes cidades. Tendo em conta que um quarto da costa arenosa mundial sofre forte erosão (provocando a diminuição do território e colocando em risco as populações e os ecossistemas) e um quinto da população europeia habita a 10 km da linha de costa, é perceptível a vulnerabilidade do território português^[18].

O nosso país apresenta graves problemas de ordenamento do território costeiro, como a construção de urbanizações e outras infraestruturas (por exemplo estruturas de defesa costeira, como esporões e quebra-mares) em ambiente dunar, extração de areia para a construção civil, circulação de pessoas e veículos nestes locais, entre outros. A morfologia costeira é assim afetada por intervenções antrópicas de diversas escalas, que provocam alterações nas correntes e direção das ondas incidentes, modificando os padrões de erosão ou acreção locais^[18].

2.2. A faixa costeira de Leça da Palmeira (Matosinhos) a Madalena (Vila Nova de Gaia)

A faixa costeira é um local dinâmico, uma vez que se encontra exposto a forças (ondas, marés, vento, entre outros) que alteram constantemente a sua morfologia. Estes locais experimentam elevada erosão, causando o recuo da linha de costa. No entanto, além destes fatores, as interações humanas também alteram o dinamismo deste local. No sentido de mitigar este efeito, a construção de estruturas de defesa costeira torna-se necessária. Porém, estas estruturas alteram profundamente os processos naturais, como a sedimentação, provocando consequências a longo prazo, muitas vezes inesperadas devido à falta de conhecimento sobre a dinâmica costeira^[15].

O litoral português é uma região que sofre bastante erosão costeira. Este facto levou à construção de vários esporões e outras estruturas de defesa costeira. Estas estruturas contruídas, desde a foz do rio Minho (Caminha) até ao cabo Mondego (Figueira da Foz), são essencialmente de três naturezas: enrocamentos, esporões e quebra-mares (estes últimos relacionados sobretudo com as áreas portuárias)^[19].

A ondulação ao rebentar cria uma corrente longitudinal em relação ao litoral, transportando os sedimentos. Este processo é responsável pela criação de praias em cunha junto dos obstáculos (como por exemplo esporões) e do lado oposto desenvolve-se uma área de erosão, com recuo da linha de costa. Quando os obstáculos são elementos destacados, como por exemplo afloramentos rochosos e

O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactes no sistema Terra

quebra-mares, criam-se praias em ponta ou tómbolos, desenvolvendo-se a linha de costa no sentido do obstáculo ^[19] (Figura 6).

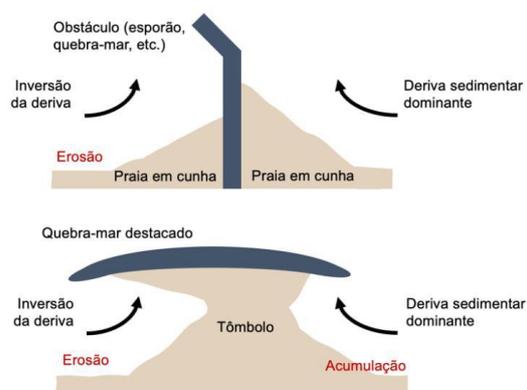


Figura 6 – Esquema sobre a formação de praia em cunha e tómbolo. Adaptado de Carvalho e colaboradores ^[19] (p. 10).

O rio Douro possui a maior bacia hidrográfica da Península Ibérica, com cerca de 100 000 km² ^[20]. A entrada do estuário é protegida por uma restinga denominada Cabedelo do Douro (figura 4 – na página seguinte), com cerca de 300 m de largura (O-E) e 800 m de comprimento (N-S). Esta estrutura é composta por areia de grão médio-grosseiro e o seu dinamismo é influenciado pelo vento, transporte sedimentar pelo rio, condições marinhas, ondulação e maré ^{[15][20]}. Em 2004 foi iniciada a extensão do quebra-mar a Norte (em cerca de 350 m) e a construção de um novo quebra-mar curvo (com cerca de 450 m) devido à regressão da linha de costa – o que está parcialmente relacionado com a construção de barragens no rio Douro entre 1950 e 1985 ^{[15][20]}.

A dinâmica costeira da região limítrofe à foz do rio Douro sofreu vários impactos devido aos trabalhos realizados no final do século XIX, com a construção do Porto de Leixões ^[20]. O Porto de Leixões situa-se na foz do rio Leça, a cerca de 4 km da foz do rio Douro. Este foi construído como alternativa ao Porto do Douro em 1882. O Porto de Leixões possui dois quebra-mares, um a norte e outro a sul ^{[19][21]} (Figura 7).

O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactes no sistema Terra

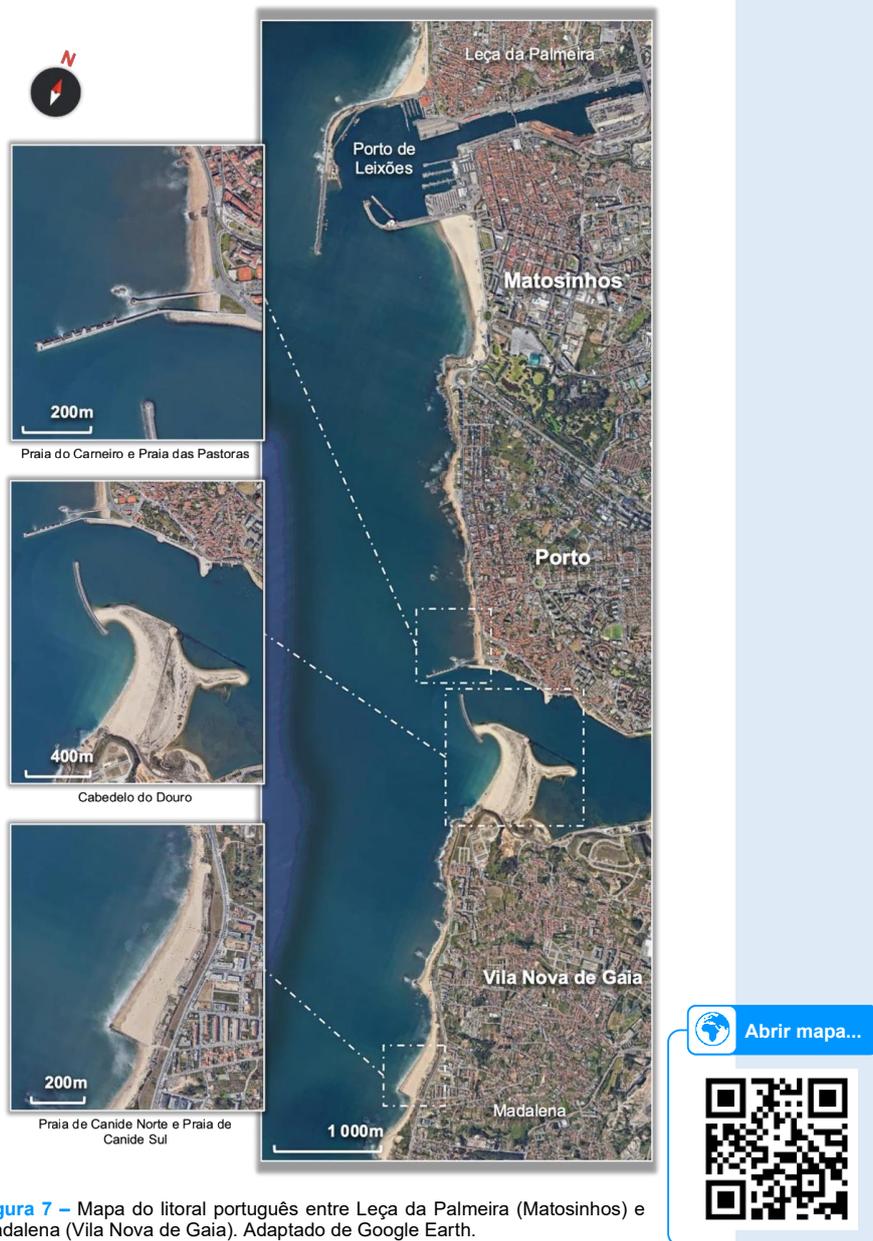


Figura 7 – Mapa do litoral português entre Leça da Palmeira (Matosinhos) e Madalena (Vila Nova de Gaia). Adaptado de Google Earth.

Reproduzir...



Jogar...

Avalie os seus conhecimentos!
Peça o seu código do Kahoot!
#2:
– O crescimento populacional, a ocupação antrópica e a gestão da zona costeira

Questões

2. A corrente deriva litoral é responsável pela alimentação sedimentar da costa. No caso das localidades a sul da foz do rio Douro, esta corrente transporta sedimentos do rio Douro e das praias que estão a norte. A construção das barragens no rio Douro coincide com o agravamento da erosão costeira da região a sul da sua foz. Explique de que forma a construção de barragens poderá ter agravado este problema, identificando os subsistemas terrestres envolvidos.
3. Observe o mapa do litoral desde Leça da Palmeira a Madalena (Figura 8).
 - 3.1. Recorrendo os traços laranjas (junto à costa) e verde (junto à restinga), complete as setas no sentido de transporte dos sedimentos. Para tal, tenha em consideração as estruturas de defesa costeira presentes no mapa.
 - 3.2. O que observa em relação ao sentido de transporte dos sedimentos e respetiva deposição:
 - a) na restinga do rio Douro?
 - b) na região do porto de Leixões?

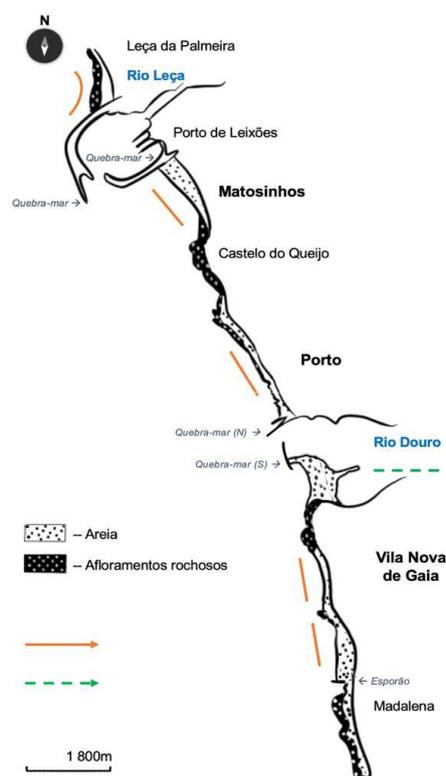


Figura 8 – Mapa do litoral desde Leça da Palmeira (Matosinhos) a Madalena (Vila Nova de Gaia). Adaptado de Carvalho e colaboradores [19] (p.10).

O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactos no sistema Terra

4. Discuta com os colegas do seu grupo as respostas às seguintes questões. Para tal, reflita tendo em consideração uma visão geoética.
 - 4.1. Tendo em conta aspetos económicos (como a construção de infraestruturas turísticas), sociais (como os prejuízos resultantes do galgamento do mar junto das habitações na linha de costa) e ambientais (como a destruição dos cordões dunares), qual será a melhor solução para uma correta gestão da orla costeira? Justifique.
 - 4.2. Será correto o ser humano ocupar a região costeira? Devemos alterar a forma como é gerido o ambiente costeiro? Justifique.

Procedimento

1. Formar grupos com cerca de quatro elementos.
2. Ler e analisar o caso presente neste documento.
3. Discutir as ideias de cada um e responder às questões em grupo.
4. Comunicar e debater os resultados atingidos com os colegas de outros grupos.

Atividade de síntese e consolidação:

1. Visualizar o documentário “Deriva Litoral: o impacto da erosão costeira em Portugal”, disponível através do link: <https://bit.ly/3k6jh2H>
2. Realizar a aula de campo virtual à zona costeira de Espinho, disponível através do link: <https://bit.ly/3GZYB7k>



Referências

- [1] Grotzinger, J. & Jordan, T. H. (2020). *Understanding Earth (8ª Edição)*. Macmillan.
- [2] Orion, N. (2019). The future challenge of Earth science education research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0003-z>
- [3] Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Schellnhuber, H.J., Dube, O.P., Dutreuil, S., Lenton, T.M., & Lubchenco, J. (2020). The emergence and evolution of Earth System Science. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(1), 54-63. <https://doi.org/10.1038/s43017-019-0005-6>
- [4] Lucchesi (2017). Geosciences at the service of society: the Path Traced by Antonio Stoppani. *Annals of Geophysics*, 60(7). <https://doi.org/10.4401/ag-7413>
- [5] Vasconcelos, C. & Orion, N. (2021). Earth Science Education as a Key Component of Education for Sustainability. *Sustainability*, 13, 1316. <https://doi.org/10.3390/su13031316>
- [6] Peppoloni, S. & Di Capua G. (2020). Geoethics as global ethics to face grand challenges for humanity. In G. Di Capua, P. T. Bobrowsky, S.W. Kieffer & C. Palinkas (Eds.), *Geoethics: Status and Future Perspectives* (pp. 1-17). Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/SP508-2020-146>
- [7] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Population Prospects 2019*. <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>

O crescimento populacional: da ocupação antrópica aos seus impactos no sistema Terra

- [8] Alshalalda, M. (2019). Causes of Human Population Growth: A Quantitative Study. *Methodist – University's Journal of Undergraduate Research and Creativity*, 80-96.
- [9] Garg, S. (2017). Impact of Overpopulation on Land Use Pattern. In R. Singh, A. Singh, & V. Srivastava (Eds), *Environmental Issues Surrounding Human Overpopulation* (pp. 137-154). IGI Global. <http://doi:10.4018/978-1-5225-1683-5.ch008>
- [10] Cui, L., Xie, G., Qu, Y., Gao, L., & Yang, Y. (2018). Security and Privacy in Smart Cities: Challenges and Opportunities. *IEEE Access*, 6, 46134-46145. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2853985>
- [11] Carpio, O.V. & Fath, B.D. (2010). Assessing the environmental impacts of urban growth using land use/land cover, water quality and health indicators: A case study of Arequipa, Peru. *American Journal of Environmental Sciences*, 7(2), 90-101. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2011.90.101>.
- [12] Van Dao, N., & Van, V. H. (2020). Population Explosion and the Environment in Developing Countries: A Case Study of Vietnam. *Revista Argentina de Clínica Psicológica*, 29(4), 202-218. <https://doi.org/10.24205/03276716.2020.822>
- [13] Small, C. & Cohen, J.E. (2004). Continental Physiography, Climate, and the Global Distribution of Human Population. *Current Anthropology*, 45(2), 269-277. <https://doi.org/10.1086/382255>
- [14] Small, C., Gornitz, V., & Cohen, J. E. (2000). Coastal hazards and the global distribution of human population. *Environmental Geosciences*, 7(1), 3-12. <https://doi.org/10.1046/j.1526-0984.2000.71005.x>
- [15] Bio, A., Bastos, L., Granja, H.M., Pinho, J.L., Henriques, R.F., Madeira, S., Magalhães, A., & Rodrigues, D. (2014). Methods for coastal monitoring and erosion risk assessment: two Portuguese case studies. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 15(1), 47-63. <https://doi.org/10.5894/rgci490>
- [16] Hall, T. & Barret, H. (Ed) (2018). *Urban geography (5ª Edição)*. New York: Routledge.
- [17] Zêzere, J. L., Ramos Pereira, A., & Morgado, P. (2007). Perigos naturais em Portugal e ordenamento do território: e depois do PNPT?. *Geophilia-O sentir e os sentidos da Geografia*, 529-542.
- [18] Bio, A., Gonçalves, J. A., Pinho, J., Vieira, L., Vieira, S., Smirnov, G., & Bastos, L. (2020). Indicadores de vulnerabilidade de erosão costeira: Um estudo de caso no Norte de Portugal. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 20(3), 197-209. <https://doi.org/10.5894/rgci-n337>
- [19] Carvalhos, G. S., Granja, H., & Costa, A.L. (2006). Dois casos de mudanças antrópicas na faixa costeira (praias e dunas) do noroeste de Portugal. *Geonovas*, 20, 9-15.
- [20] Bastos, L., Bio, A., Pinho, J. L. S., Granja, H., & da Silva, A. J. (2012). Dynamics of the Douro estuary sand spit before and after breakwater construction. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 109, 53-69. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.05.017>
- [21] Guedes, L. H., & Brôgueira, D. E. (2021). The port of Leixões (Portugal): over 120 years of knowledge. *Geotechnical Research*, 8(2), 42-53. <https://doi.org/10.1680/jgere.18.00015>



Este recurso educativo foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através da bolsa de doutoramento "Abordar o sistema Terra numa perspetiva geotética: da ciência cidadã à educação em ciências" (ref. SFRH/BD/143306/2019).

Apêndice 3 – Recurso Educativo 3

Título

A alimentação humana: dos hábitos alimentares cotidianos às práticas agrícolas

Descrição

O crescimento populacional cria uma pressão sobre o sistema alimentar no sentido de aumentar a sua produção. A produção alimentar apresenta vários impactes para o sistema Terra, como a emissão de gases com efeito de estufa e consumo excessivo de água. A disponibilidade, acesso, utilização e estabilidade de produtos alimentares é um grande desafio, uma vez que a fome e a malnutrição são problemas que exigem ações. A insegurança alimentar é predominante em países em desenvolvimento. Nestes países, a população depende da agricultura para a criação de emprego e rendimento. Desta forma, será razoável impor as mesmas metas ambientais dos países desenvolvidos aos países em desenvolvimento? Como devemos gerir as áreas agrícolas de forma a minimizar os impactes ambientais, económicos e sociais negativos que presenciámos associados à alimentação humana?

Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas



Propósito

- Aprender sobre os impactes nos subsistemas da Terra resultantes da alimentação humana.

Objetivos

- Compreender os impactes das práticas agrícolas e alimentação humana no sistema Terra;
- Identificar possíveis medidas que contribuam para a minimização dos impactes ambientais, económicos e sociais resultantes dos hábitos alimentares atuais;
- Discutir acerca dos efeitos dos impactes das práticas agrícolas e alimentação humana, com base na geoética, sobre as dinâmicas do sistema Terra.

Caso



1. O sistema Terra e a geoética

O planeta Terra é definido como um sistema holístico, complexo e adaptativo, que resulta da interação dos cinco subsistemas terrestres ^{[1][2][3]} (Figura 1):

- Atmosfera: corresponde à camada gasosa constituída sobretudo por azoto (78%) e oxigénio (21%) que envolve a Terra;
- Biosfera: é o subsistema que inclui todas as formas de vida;
- Criosfera: subsistema terrestre composto por toda a água em estado sólido (gelo);
- Geosfera: porção do sistema terrestre composta por rochas e minerais e material rochoso fundido;
- Hidrosfera: subsistema que inclui toda a água no estado líquido, incluindo oceanos, rios, lagos, fontes e lençóis freáticos.

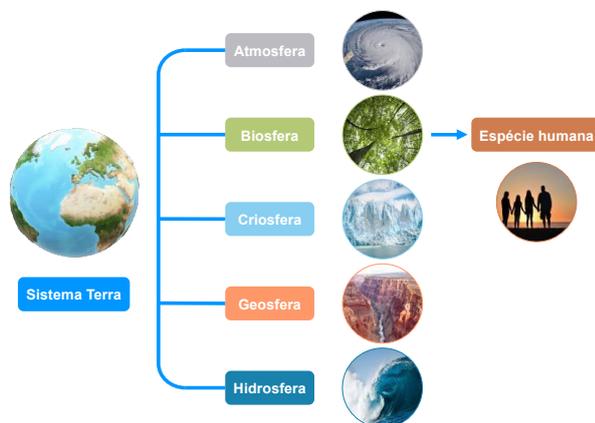


Figura 1 – O sistema Terra e os seus subsistemas.

A alimentação humana: dos hábitos alimentares cotidianos às práticas agrícolas

Estes subsistemas interrelacionam-se e são interconectados e interdependentes, partilhando ciclos de matéria e fluxos de energia^[2]. Desta noção, é possível depreender que ações praticadas num determinado subsistema irão desencadear respostas nos restantes.

A espécie humana inclui-se no sistema Terra e é capaz de alterar as suas dinâmicas através das suas ações, sendo considerada como um “agente geológico”^{[4][5]}. Assim, as ações humanas sobre o sistema Terra devem ser refletidas de forma a acautelar possíveis impactos negativos.

Um dos maiores desafios para o século XXI é a existência da espécie humana em harmonia com o sistema Terra, reconhecendo que o ser humano impacta e é impactado pelas dinâmicas terrestres^[2].

A reflexão sobre as interações entre o ser humano e o planeta é o objeto de estudo da geoética. Esta área recente cruza conhecimentos das geociências, filosofia, economia e sociologia (Figura 2) e debruça-se sobre a investigação e reflexão de um conjunto de valores (Tabela 1) que permitem contextualizar e harmonizar as ações humanas em relação ao planeta^[6].

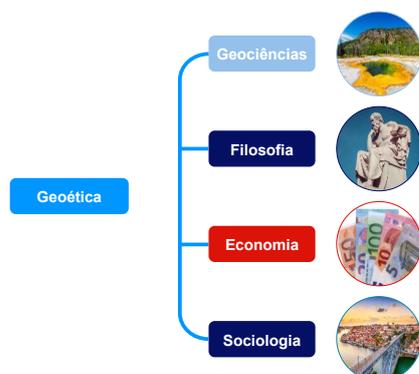


Figura 2 – A geoética e a sua interdisciplinaridade.

Através da aplicação da geoética nas tomadas de decisão diárias será possível entender a magnitude das ações humanas e o papel da sociedade para a sustentabilidade planetária.

Tabela 1 – Valores geoéticos: éticos, sociais e culturais.

VALORES GEOÉTICOS		
Éticos	Sociais	Culturais
Integridade		
Responsabilidade		
Conscencialização		
Honestidade		Valor intrínseco das geociências
Cooperação	Sustentabilidade	
Inclusão		Geodiversidade
Cortesia	Prevenção	
Justiça		Paisagem geológica
Liberdade de ação	Educação	
Transparência		Património geológico
Humildade		
Respeito		



Avalie os seus conhecimentos!
Peça o seu código do Kahoot! #1:
– O sistema Terra e a geoética

2. O crescimento populacional e as práticas agrícolas

O acentuado crescimento da população mundial é um tema bastante discutido devido aos vários problemas que dele advém, como o aumento da exploração de recursos, destruição dos ecossistemas ou aumento da poluição. Adjacente a estes e outros problemas, a alimentação humana surge igualmente como um grande desafio ambiental, social e económico.

A população humana encontra-se em franco crescimento. O crescimento populacional depende da taxa de natalidade, de mortalidade, de fertilidade e da migração. Estes fatores são influenciados pela educação, religião, acesso a

métodos contraceptivos e cuidados de saúde, estabilidade política, fornecimento alimentar, entre outros ^{[7][8]} (Figura 3).

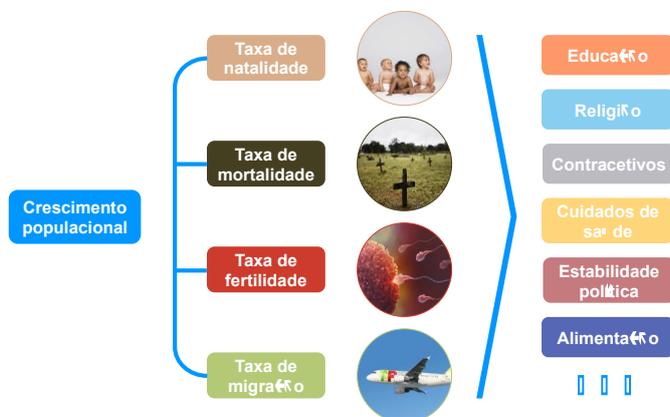


Figura 3 – Alguns fatores que condicionam o crescimento populacional.

Estima-se que o aumento da população continue especialmente na África e na Ásia (Figura 4). Prevê-se que o crescimento populacional atinga o seu pico máximo por 2040 nos países desenvolvidos, enquanto nos países em desenvolvimento será mais tarde. Adicionalmente, a magnitude deste crescimento será mais acentuada nestes últimos ^[9].

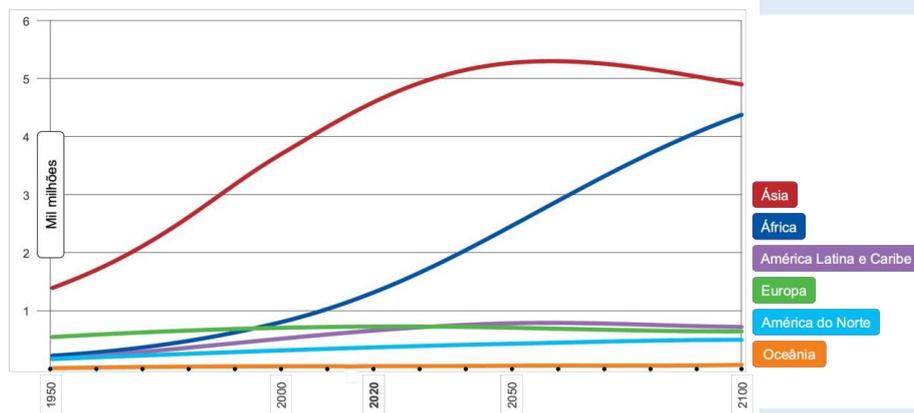


Figura 4 – Crescimento populacional até 2100 por regiões. Adaptado de FAO ^[9] (p. 13).

A alimentação humana: dos hábitos alimentares cotidianos às práticas agrícolas

Há quatro décadas, a população mundial vivia predominantemente em meio rural [9][10]. Contudo, tem-se assistido a um fenómeno denominado êxodo rural – que consiste na migração da população do meio rural para o meio urbano. Um fator que contribui para este fenómeno é a mudança das práticas agrícolas, com a adoção de tecnologias que diminuem a mão de obra na agricultura, levando a uma maior industrialização da agricultura. As recentes práticas agrícolas levam a que haja um menor número de trabalhadores no setor de produção e um maior número nos setores de distribuição, armazenamento, processamento e venda, por exemplo [9].

A agricultura consome bastantes recursos naturais como, por exemplo, água ou solo. O crescimento populacional e as práticas agrícolas intensivas, embora mais eficientes na atualidade, levam à degradação e sobre-exploração de vários recursos naturais, levando a um aumento destes mesmos problemas [9]. O ser humano depende da água para agricultura, recorrendo a água doce dos aquíferos, rios e lagos.

No entanto, nos últimos vinte anos, a disponibilidade de água doce per capita diminuiu 20% e a agricultura é responsável por 70% do consumo de água [11]. Prevê-se que até 2050, a procura por produtos alimentares e outros produtos agrícolas aumente em 50%, intensificando estes problemas.

No início do século XXI, a extensão da área agrícola fixou-se em 4,9 mil milhões ha (hectares). Nos países em desenvolvimento, a perda de área florestal e a expansão das áreas agrícolas são mais intensas. Estima-se que cerca de 80% da desflorestação resulte da agricultura e este fenómeno causa grandes impactos ambientais, como a diminuição da biodiversidade ou a emissão de gases com efeito de estufa. A diminuição da biodiversidade apresenta-se como elemento importante na segurança alimentar, uma vez que reduz a possibilidade de cultivo de novas espécies de plantas, que poderiam ter um papel preponderante na adaptação e resiliência face às alterações climáticas. A desflorestação deve-se, em grande parte, à crescente urbanização e alterações nos padrões de consumo resultantes do crescimento populacional [9].

Desde a década de sessenta, o fornecimento alimentar per capita intensificou-se mais de 30% associado a um aumento de 800% da utilização de fertilizantes e 100% do uso de recursos hídricos [12]. Devido a diversos fatores atuais, como as alterações climáticas, a segurança alimentar encontra-se impactada nos seus quatro pilares: disponibilidade, acesso, utilização e estabilidade [12].

A alimentação humana: dos hábitos alimentares cotidianos às práticas agrícolas

A segurança alimentar corresponde a um contexto no qual todas as pessoas, a todo o momento, possuem acesso físico, social e económico a alimentos suficientes, seguros e nutritivos. Este acesso possibilita que estas suprimam as suas necessidades e preferências alimentares, permitindo uma vida saudável e ativa^[12]. Porém, a segurança alimentar não se encontra presente na vida de todos os cidadãos, uma vez que no mundo existem pessoas com fome ou malnutridas (o que inclui também o excesso de peso e a obesidade).

Questões

1. Indique e explique uma relação entre dois subsistemas da Terra que resulte do crescimento populacional e da agricultura. (Exemplo: O crescimento populacional humano [biosfera] leva à intensificação da poluição por emissão de gases com efeito estufa [atmosfera].)
2. Explique de que forma a alimentação humana contribui para a diminuição da água potável disponível e degradação e contaminação dos solos.
3. Indique duas medidas que podem contribuir para a minimização dos impactes ambientais resultantes da indústria agrícola.

Continuação do caso

2.1. A alimentação humana

A urbanização altera(ou) aos padrões de consumo alimentar, uma vez que nas áreas urbanas há um maior consumo de alimentos processados e de origem animal, como *fast food*. Assim, há um maior consumo de sal, açúcar, gorduras e conservantes, criando problemas de saúde. Neste sentido, torna-se necessária uma mudança de hábitos alimentares de forma a minimizar os impactes na saúde (e também no planeta). No entanto, mudanças dos hábitos alimentares são muito difíceis de atingir, tendo em conta que a dieta é influenciada por comportamentos sociais complexos e não apenas o que cada pessoa come – existindo vários elementos a ter em conta como o poder de compra, cultura, ideologias, entre outros fatores^[9].

É cada vez mais aceite que a alimentação humana apresenta vários impactes para o ambiente e que mudanças nos hábitos alimentares poderão auxiliar o percurso da humanidade em relação ao desenvolvimento sustentável. Por exemplo, dietas ricas em produtos animais estão associadas a grandes impactes

ambientais como elevadas emissões de gases com efeito de estufa ^[9] (Figura 5), como o:

- dióxido de carbono (CO₂): através da desflorestação para agricultura e pecuária;
- metano (CH₄): resultante da digestão dos animais na indústria pecuária;
- óxido nitroso (N₂O): proveniente da utilização de fertilizantes.

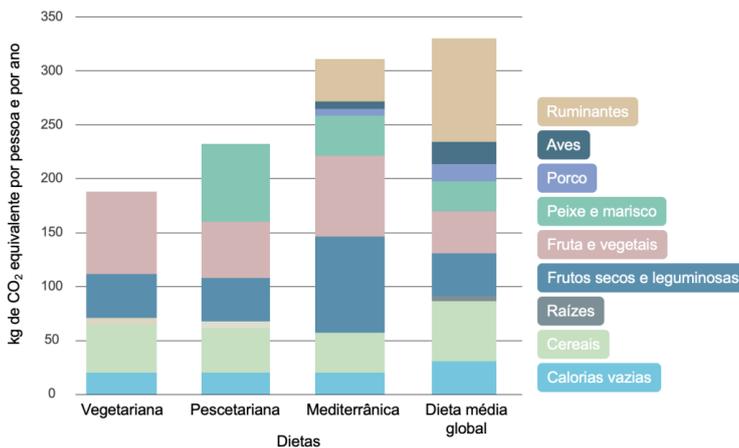


Figura 5 – Emissões de CO₂ por tipo de dieta. Adaptado de FAO ^[9] (p. 86).

Além disso, dietas ricas em produtos animais apresentam igualmente um grande consumo de água, degradação dos solos e diminuição da biodiversidade.

Noutra perspetiva, uma dieta rica em produtos de origem animal encontra-se associada a várias doenças, como patologias cardiovasculares (ex.: enfarte do miocárdio ou acidente vascular cerebral), diabetes ou cancro, entre outras ^[13]. Segundo a Associação Portuguesa de Nutrição ^[14], a população portuguesa consome mais alimentos de origem animal do que de origem vegetal, sendo que 34% da população apresenta um consumo de carne superior a 100 g/dia, o que reitera a incidência proeminente de doenças cardiovasculares no nosso país.

Questões

4. De que forma uma dieta rica em produtos de origem animal contribui para o aquecimento global? Na sua resposta identifique os subsistemas da Terra envolvidos.
5. Como é que as nossas escolhas alimentares (individuais e coletivas) podem influenciar o impacto da alimentação humana no planeta? Justifique.

Continuação do caso...

2.2. A dieta mediterrânea

Em Portugal, os hábitos alimentares aproximam-se da dieta mediterrânica dada a localização geográfica, produção alimentar e cultura do país. A dieta mediterrânica resulta da fusão de influências de culturas e alimentos tradicionais e típicos da região da bacia do Mediterrâneo e teve especial predomínio no nosso país até meados do século passado (antes da ocidentalização dos hábitos alimentares). É caracterizada pelo consumo de azeite, frutas, vegetais, cereais (predominantemente não refinados), legumes, nozes, quantidades moderadas de peixe e laticínios e baixas quantidades de carne e seus derivados [13][15].

A dieta mediterrânea é considerada como um modelo alimentar saudável e com potencial para contribuir para o desenvolvimento sustentável, uma vez que a nutrição, a produção de alimentos locais, a biodiversidade, a cultura, as pessoas e a sustentabilidade encontram-se articuladas [15][16]. A noção de dieta sustentável encontra-se associada à ideia de agricultura sustentável, sendo que esta última se caracteriza pela minimização do desperdício dos recursos naturais com enfoque no consumo de produtos locais e sazonais, diminuindo o impacto ambiental [13][16]. Ademais, deve ser considerada a sustentabilidade de toda a cadeia alimentar [16].

 Reproduzir...



 Jogar...

Avalie os seus conhecimentos!
Peça o seu código do Kahoot! #2:
– O crescimento populacional, as práticas agrícolas e a alimentação humana

Questões

6. Segundo a dieta mediterrânea, há a preferência pelo consumo de produtos locais e sazonais. Explique de que modo o consumo deste tipo de produtos contribui para a diminuição dos impactes ambientais.
7. Discuta com os colegas do seu grupo as respostas às seguintes questões. Para tal, reflita tendo em consideração uma visão geoética.
 - 7.1. Cerca de um terço das áreas agrícolas encontram-se degradadas^[9]. A restante área do planeta não agrícola é inadequada para agricultura e torná-la cultivável teria grandes custos ambientais, económicos e sociais. Tendo em conta os aspetos ambientais (como a desflorestação para criação de áreas de cultivo), económicos (como a produção de riqueza resultante da venda dos produtos) e sociais (como a criação de emprego), qual será a melhor solução para uma correta gestão das áreas agrícolas?
 - 7.2. A fome no mundo afeta 820 milhões de pessoas^[17]. Estas encontram-se sobretudo em países em desenvolvimento. Estes países dependem fortemente da agricultura para a criação de empregos e rendimentos e são os que apresentam maior crescimento populacional. Será razoável impor as mesmas metas ambientais dos países desenvolvidos aos países em desenvolvimento? Justifique.

Procedimento

1. Formar grupos com cerca de quatro elementos.
2. Ler e analisar o caso presente neste documento.
3. Discutir as ideias de cada um e responder às questões em grupo.
4. Comunicar e debater os resultados atingidos com os colegas de outros grupos.

Atividade de síntese e consolidação: visualizar o vídeo “A agricultura e o desafio da sustentabilidade ambiental”, disponível através do link: <https://bit.ly/3fA2VN0>



Referências

- [1] Grotzinger, J. & Jordan, T. H. (2020). *Understanding Earth (8ª Edição)*. Macmillan.
- [2] Orion, N. (2019). The future challenge of Earth science education research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0003-z>
- [3] Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Schellnhuber, H.J., Dube, O.P., Dutreuil, S., Lenton, T.M., & Lubchenco, J. (2020). The emergence and evolution of Earth System Science. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(1), 54-63. <https://doi.org/10.1038/s43017-019-0005-6>
- [4] Lucchesi (2017). Geosciences at the service of society: the Path Traced by Antonio Stoppani. *Annals of Geophysics*, 60(7). <https://doi.org/10.4401/ag-7413>

A alimentação humana: dos hábitos alimentares cotidianos às práticas agrícolas

- [5] Vasconcelos, C. & Orion, N. (2021). Earth Science Education as a Key Component of Education for Sustainability. *Sustainability*, 13, 1316. <https://doi.org/10.3390/su13031316>
- [6] Peppoloni, S. & Di Capua G. (2020). Geoethics as global ethics to face grand challenges for humanity. In G. Di Capua, P. T. Bobrowsky, S.W. Kieffer & C. Palinkas (Eds.), *Geoethics: Status and Future Perspectives* (pp. 1-17). Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/SP508-2020-146>
- [7] Alshalalda, M. (2019). Causes of Human Population Growth: A Quantitative Study. *Methodist – University's Journal of Undergraduate Research and Creativity*, 80-96.
- [8] Garg, S. (2017). Impact of Overpopulation on Land Use Pattern. In R. Singh, A. Singh, & V. Srivastava (Eds), *Environmental Issues Surrounding Human Overpopulation* (pp. 137-154). IGI Global. <http://doi:10.4018/978-1-5225-1683-5.ch008>
- [9] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2017). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. FAO.
- [10] United Nations (2015). *World Population Prospects: the 2015 Revision*. <https://esa.un.org/unpd/wpp>
- [11] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020). *The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>
- [12] Mbow, C., C. Rosenzweig, L.G. Barioni, T.G. Benton, M. Herrero, M. Krishnapillai, E. Liwenga, P. Pradhan, M.G. Rivera-Ferre, T. Sapkota, F.N. Tubiello, & Y. Xu (2019). Food security. In P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, & J. Malley (Eds.), *Climate Change and Land* (pp.437-550). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [13] Germani, A., Vitiello, V., Giusti, A. M., Pinto, A., Donini, L. M., & del Balzo, V. (2014). Environmental and economic sustainability of the Mediterranean Diet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65(8), 1008–1012. <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.945152>
- [14] Associação Portuguesa de Nutrição (2017). *Alimentar o futuro: uma reflexão sobre sustentabilidade alimentar*. Porto: Associação Portuguesa de Nutrição.
- [15] Dernini, S., & Berry, E. M. (2015). Mediterranean Diet: From a Healthy Diet to a Sustainable Dietary Pattern [Perspective]. *Frontiers in Nutrition*, 2(15). <https://doi.org/10.3389/fnut.2015.00015>
- [16] Anderson, R., Bayer, P. E., & Edwards, D. (2020). Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 197-202. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.12.006>
- [17] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the International Fund for Agricultural Development (IFAD), the United Nations Children's Fund (UNICEF), the World Food Programme (WFP) or the World Health Organization (WHO) (2019). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against economic slowdowns and downturns*. FAO



Este recurso educativo foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através da bolsa de doutoramento "Abordar o sistema Terra numa perspetiva geoética: da ciência cidadã à educação em ciências" (ref. SFRH/BD/143306/2019).