



Visão holística do Sistema Terra para o Desenvolvimento Sustentável

HOLISTIC VIEW OF THE EARTH SYSTEM FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

DULCE MANUEL CRUZ HENRIQUES DE LIMA^{1,3} E SARA CRISTINA FERREIRA MARQUES ANTUNES^{2,3}

1 - DOUTORANDA EM ENSINO E DIVULGAÇÃO DAS CIÊNCIAS, UNIDADE DE ENSINO DAS CIÊNCIAS, FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO, PORTO, PORTUGAL

2 - DOUTORA EM BIOLOGIA, DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA, FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO, PORTO, PORTUGAL.

3 - CENTRO INTERDISCIPLINAR DE INVESTIGAÇÃO MARINHA E AMBIENTAL (CIIMAR), UNIVERSIDADE DO PORTO, PORTO, PORTUGAL.

EMAIL: DULCE.LIMA@FC.UP.PT, SCANTUNES@FC.UP.PT

Abstract: Sustainable Development encompasses a cluster of environmental, social and economic problems, and it is urgent to teach responsible and informed citizens. The holistic view of the Earth System in science education enhances the perception of the role of human being in ecosystems and promotes the environmental awareness essential to sustainable development. This work is a didactic resource for discussion and guided reflection in the teaching of Natural Sciences 8th grade of the elementary school) and Biology and Geology (10th grade of high school) according to the Portuguese curriculum. The Earth System's innovative approach moves away from the traditional perspective centered on a reductive interpretation of the planet. Sequential and intentional questions and activities are proposed, appropriate to the Sustainability on Earth domain and to chapter I "The Earth and its interacting subsystems" and chapter III "The Earth, a unique planet to be protected", defined respectively in the 8th and 10th education grade national curriculum.

Resumo: O Desenvolvimento Sustentável abrange um aglomerado de problemas ambientais, sociais e económicos, sendo urgente ensinar para a cidadania responsável e informada. A visão holística do Sistema Terra na educação em ciências potencializa a perceção do papel do Homem nos ecossistemas e promove a consciência ambiental imprescindível ao desenvolvimento sustentável. Este trabalho é um recurso didático para discussão e reflexão orientada no ensino das Ciências Naturais 8^o ano do 3^o ciclo do Ensino Básico) e da Biologia e Geologia (10^o ano do Ensino Secundário), segundo o currículo português. A abordagem inovadora do Sistema Terra afasta-se da tradicional perspectiva centrada em uma interpretação redutora do planeta. Propõem-se questões e atividades, sequenciais e intencionais, adequadas ao domínio Sustentabilidade na Terra e ao capítulo I "A Terra e os seus subsistemas em interação" e capítulo III "A Terra, um planeta único a proteger", definidos, respetivamente, no currículo nacional do 8^o e do 10^o ano de escolaridade.

Citation/Citação: Lima, D. M. C. H. de, & Antunes, S. C. F. M. (2021). Visão holística do Sistema Terra para o desenvolvimento sustentável. *Terræ Didática*, 17(Publ. Contínua), 1-11, e021025. doi: 10.20396/td.v17i00.8665564.

Keywords: Global Change, Earth Sciences Education, Environment awareness, Ecology.

Palavras-chave: Mudança Global, Educação em Ciências da Terra, Ecologia, Consciência Ambiental.

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 27/03/2021

Revised/Corrigido: 16/05/2021

Accepted/Aceito: 20/07/2021



Introdução

Na sociedade atual, que enfrenta problemas relacionados com a sustentabilidade do planeta para a sobrevivência da humanidade, a ciência faz parte, direta ou indiretamente, do cotidiano de qualquer cidadão, sendo cada vez mais imprescindível a sua comunicação assertiva e entendimento público (Ribeiro et al., 2021). Constata-se assim uma evidência crescente de que os cidadãos, jovens e adultos, valorizam a ciência e precisam ser informados sobre os problemas globais do Sistema Terra, para se envolverem e agirem na sua resolução, nomeadamente, por meio da ciência-cidadã. A investigação científica e os avanços tecnológicos das últimas décadas permitiram reproduzir modelos computadorizados mais precisos que antecipam uma série de alterações no Sistema Terra, resultantes não só de fenómenos naturais, mas também,

de origem antrópica - modelação ecológica (ESA, 2006). Se, por um lado, os resultados obtidos nesta abordagem de modelação têm proporcionado um melhor entendimento sobre o funcionamento e a complexidade dos subsistemas terrestres, por outro, emerge a necessidade em desenvolver uma sociedade cientificamente educada e consciente, quanto à vulnerabilidade natural do planeta.

As Tabelas que se seguem referem-se ao *Guia de exploração do professor*, com questões que orientam a reflexão dos alunos sobre o documento. Estes encontram-se repartidos ao longo do mesmo, para facilitar a interpretação e análise de conteúdos apresentados no texto.

O campo de estudo das Ciências dos Sistemas Terrestres (onde se incluem as Ciências Naturais, a Geologia e a Biologia) promove a visão holística do Sistema Terra, nomeadamente reforçando as

Tabela 1.I. Guia de exploração (8º e 10º ano) para alunos e professor

Guia de exploração

(o professor introduz o tema em debate, a partir da reflexão conjunta do texto introdutório)

Questão para o aluno (Q)	Finalidade para o professor (F)
8º ano Domínio - Sustentabilidade na Terra	10º ano Capítulo 1 - A Terra e os seus subsistemas em interação Capítulo 3 - A Terra, um planeta único a proteger
Q1 - Que problemas enfrenta a sociedade atual? Q2 - Refere porque são considerados problemas. Q3 - Estará o Homem em perigo? Q4 - Exemplifica o uso da ciência no teu cotidiano e na resolução de um problema atual. <i>F1/F2/F3 - Aferir a consciência individual do aluno, face aos problemas reais, sendo o ponto de partida para a discussão do documento.</i> <i>F4 - Avaliar a percepção que o aluno tem da ciência e da sua importância no desenvolvimento da sociedade.</i>	Q1 - Que problemas enfrenta a sociedade atual? Q2 - Refere porque são considerados problemas. Q3 - Estará o Homem em perigo? Fundamenta a tua opinião. Q4 - Exemplifica o uso da ciência no teu cotidiano e na resolução de um problema atual. <i>F1/F2/F3 - Aferir a consciência individual do aluno, face aos problemas reais, assim como, a sua capacidade de argumentação.</i> <i>F4 - Avaliar a percepção que o aluno tem da ciência e da sua importância no desenvolvimento da sociedade.</i>

interligações entre os seus subsistemas (biosfera, atmosfera, hidrosfera e geosfera) (Orion, 2007). O uso sustentável da Terra dependerá, cada vez mais, da nossa capacidade de entender a sua complexidade. Quando começarmos a entender como um sistema global complexo, parece-nos evidente o impacte profundo que a atividade humana tem no meio ambiente. A conceção sistémica da Terra identifica amplas interconexões dos sistemas vivos, ao mesmo tempo em que reconhece a existência de profunda interdependência dos integrantes do meio biótico em relação ao meio abiótico. Admitindo-se que a ideia possa ser aplicada a muitas questões sociais, energéticas, económicas e ambientais, é viável adotar uma perspetiva sistémica para relacionar comunicação e meio ambiente, uma vez que a comunicação, além de ser uma capacidade

intrínseca aos seres humanos, é um fator básico para impulsionar a evolução das sociedades (Oliveira et al., 2021).

A atual mudança climática, a necessidade de exploração de novos minerais, o uso sustentável dos recursos hídricos e a proteção da bio e geodiversidade (Orion, 2019) são alguns exemplos dos desafios que enfrentamos, que só com cidadãos cientificamente informados poderão desenvolver a consciencialização do impacte das suas ações na Terra.

Desde 2015, com a definição dos objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas, e da sua adoção em todas as áreas do conhecimento, da ciência à educação, o foco na sustentabilidade na Terra percorreu um longo caminho, ensinando e comunicando a todos os cidadãos que a Terra é um

Tabela 1.II. Guia de exploração para alunos e professor

Q5 - Identifica os subsistemas terrestres, posicionando o Homem no Sistema Terra. Q6 - Apresenta três exemplos da ação humana com impacte negativo no planeta. <i>F5 - Aferir a compreensão do aluno na distinção dos subsistemas terrestres, reforçando a ideia de que o Homem é um ser vivo igualmente vulnerável.</i> <i>F6 - Fomentar a reflexão e a consciência ambiental individual do aluno.</i>	Q5i - Explica a complexidade do Sistema Terra. Q5ii- Localiza o Homem no Sistema Terra. Q6 - Apresenta, fundamentando, um exemplo da ação humana com impacte negativo no planeta. <i>F5 - Avaliar o conhecimento e a compreensão do aluno sobre a complexidade do Sistema Terra, bem como, percepção de que o Homem é um ser vivo igualmente vulnerável.</i> <i>F6 - Potenciar a reflexão e reforçar a consciência ambiental individual do aluno.</i>
--	---

sistema dinâmico (Vasconcelos & Orion, 2021). O termo “sustentabilidade”, remete para a palavra “sustentar” que deriva do vocábulo em latim *sustentare*, e cujos significados “suster”, “suportar”, “conservar em bom estado”, “manter” e “resistir”, firmam, neste contexto, a capacidade de salvar um sistema – o Sistema Terra (Silveira & Petrini, 2018). A preocupação em suprir as necessidades da geração presente sem afetar as gerações futuras no atendimento das suas necessidades configura a percepção do conceito de desenvolvimento sustentável, em discussão desde 1960. No entanto, foi só na década de 1980 e num cenário internacional, que a ONU retomou o debate sobre as questões ambientais e, em 1987, foi elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento o Relatório Brundtland – Our Common Future. Com este, a noção de desenvolvimento sustentável ficou claramente definida e generalizada, salientando, ainda, ser “aquele que requer o suprimento das necessidades básicas de todos, estendendo a todos a oportunidade de satisfazer as suas aspirações a uma vida melhor” (United Nations, 1987, p. 35). Este conceito sistêmico traduz um modelo de desenvolvimento global que incorpora não apenas a dimensão ecológica, mas também, as dimensões econômica e social. O referido relatório menciona, também, que a percepção das necessidades é determinada pela cultura e pela sociedade, pelo que o desenvolvimento sustentável requer a promoção de valores que estimulem os padrões de consumo dentro dos limites ecológicos aos quais todos os indivíduos podem naturalmente aspirar.

O aparecimento do Homem na Terra levou à procura e à crescente utilização de recursos naturais para a satisfação das suas necessidades, provocando impactes no ambiente e, conseqüentemente, na saúde dos indivíduos. Tendo em conta que a sobre-exploração dos recursos e serviços ecossistêmicos

pode comprometer a capacidade da sociedade em satisfazer as necessidades essenciais das populações futuras, é inegável que este impacte cresceu dramaticamente nos últimos séculos, desencadeando conseqüências fortemente negativas no sistema terrestre (Vasconcelos & Orion, 2021). São atividades antrópicas, como por exemplo, a produção industrial, a pecuária, a desflorestação ou o tráfego automóvel que contribuem, em simultâneo, para outras perturbações, nomeadamente, o aumento da concentração dos Gases com Efeito de Estufa (GEE) e, como tal, para uma menor radiação térmica para o espaço exterior. O fenómeno do aquecimento global é conseqüência disso, tendo em conta a crescente concentração de gases na atmosfera, como o dióxido de carbono, o metano e o dióxido de nitrogênio, entre outros. A este propósito, existe hoje um consenso geral entre os governos, os cientistas e as organizações industriais, da maioria dos países, em reconhecer a relação entre o aumento do CO₂ atmosférico e a concentração resultante de mais de um século de utilização de combustíveis fósseis e o aquecimento global (Barzagli & Mani, 2019). No entanto, vivemos numa sociedade onde os efeitos conscientes da dependência humana na Terra não são completamente compreendidos, o que é urgente e imprescindível para a mudança de comportamentos diários (Ribeiro et al., 2021).

A percepção ambiental emergiu como um novo conceito científico que incorpora a compreensão de que a Terra é composta por subsistemas que se interligam, e a aceitação de que os humanos devem agir em harmonia com o ciclo dinâmico e equilibrado do planeta (Vasconcelos & Orion, 2021). Vasconcelos & Orion acrescentam, ainda, que a vivência global da atual pandemia, é a melhor prova da necessidade premente desta visão holística do planeta, assumindo a premissa de que os humanos só conseguem alterar os seus

Tabela 1.III. Guia de exploração para alunos e professor

<p>Q7 - Explica o que entendes por desenvolvimento sustentável.</p> <p>Q8 - O que são os ODS definidos pelas Nações Unidas?</p>	<p>Q7 - Relembra o conceito de desenvolvimento sustentável, apresentando a sua definição.</p> <p>Q8 - O que são os ODS definidos pelas Nações Unidas?</p>
<p><i>F7/F8 - Fomentar a reflexão e o entendimento sobre o conceito de desenvolvimento sustentável, sensibilizando os alunos para a existência de 17 ODS da Agenda 2030, definidos num contexto de colaboração e ação mundial.</i></p>	<p><i>F7/F8- Reforçar a reflexão sobre o conceito de desenvolvimento sustentável, sensibilizando os alunos para a existência de 17 ODS da Agenda 2030, definidos num contexto de colaboração e ação mundial.</i></p>

Tabela 1.IV. Guia de exploração para alunos e professor

<p>Q9 - Indica as atividades antrópicas que levam ao aumento dos GEE.</p> <p>Q10 - Menciona duas interações entre os subsistemas terrestres implícitas no parágrafo “São atividades antrópicas...espaço exterior”.</p> <p><i>F9/F10 - Verificar a capacidade do aluno para identificar ações humanas associadas à libertação de GEE, e ainda, para relacionar a interação entre os subsistemas terrestres.</i></p>	<p>Q9 - Explica o impacto das atividades antrópicas no aquecimento global?</p> <p>Q10 - Menciona duas interações entre os subsistemas terrestres implícitas no parágrafo “São atividades antrópicas...espaço exterior”.</p> <p><i>F9/F10 - Verificar a capacidade do aluno para identificar a ação humana, potenciadora do aquecimento global, e ainda, para relacionar a interação entre os subsistemas terrestres.</i></p>
--	--

comportamentos depois de compreenderem as consequências das suas ações. Ao mesmo tempo que começamos a compreender, de uma forma mais profunda, a Terra como um sistema, torna-se evidente que as recentes atividades humanas têm tido um profundo impacto no planeta, explorando-o até a um nível cujas consequências serão imprevisíveis (ESA, 2006). Contudo, o mundo está longe de alcançar o desenvolvimento sustentável, tornando ainda mais relevante o papel da educação em Ciências da Terra na promoção da educação para a sustentabilidade (Vasconcelos & Orion, 2021). Todo o progresso humano depende da educação, em particular, da educação científica que podemos obter pela escola. A abordagem do Sistema Terra para o ensino é projetada para ser uma ferramenta de aprendizagem eficaz para o desenvolvimento do conceito inovador de percepção ambiental, como mencionam Vasconcelos & Orion (2021). No entanto, Assaraf & Orion (2005) referem que um melhor conhecimento dos problemas ambientais, não é suficiente por si só, para os alunos desenvolverem uma boa capacidade de tomada de decisão, relativamente aos problemas em causa. Salientam, também, que o principal objetivo da educação científica mediada pela escola é ser capaz de promover nos alunos habilidades necessárias à tradução dos problemas ambientais para uma forma mais coerente de compreensão do meio ambiente, estimulando o pensamento sistémico com a abordagem holística ao Sistema

Terra (Assaraf & Orion, 2005). Para Vasconcelos & Orion (2021), a sociedade em geral, e a escola em particular, deve abraçar a missão de formar jovens não apenas cientificamente educados, mas eticamente justos e equilibrados, dotando-os das competências necessárias para intervirem de forma fundamentada, numa perspetiva de cidadania democrática.

Atualmente, a área curricular das Ciências da Terra é fundamental para o exercício de cidadania, dada a necessidade de entender os problemas e tomar decisões informadas sobre questões que afetam as sociedades e os subsistemas do planeta (Abrunhosa et al., 2021). A abordagem tradicional (apoiada em leituras e nos exercícios teóricos do manual escolar) tipicamente usada nas escolas portuguesas alicerça-se num ensino repetitivo e numa aprendizagem mecânica, onde a reprodução fiel do ensinado é avaliado como sucesso. Não obstante este imperativo de mudança e a alargada publicação internacional lembrando os atributos da abordagem ao Sistema Terra (Batzri et al., 2015), o ensino nacional das Ciências Naturais (tal como o da Biologia e Geologia), continua redutor e centrado em uma perspetiva reducionista e fechada. Urge desenvolver o ensino e a consciencialização pública de que a Terra se comporta como um sistema sistémico, cabendo à humanidade providenciar a sua sustentabilidade, garantindo, e só assim, a preservação e sobrevivência da espécie humana (Sterling, 2010). A abordagem holística torna-se

Tabela 1.V. Guia de exploração para alunos e professor.

<p>Q11 - Explica duas alterações nos subsistemas terrestres resultantes da pandemia COVID19.</p> <p><i>F11 - Fomentar a compreensão holística do Sistema Terra e promover a reflexão sobre a interação e influência recíproca dos subsistemas terrestres na dinâmica do planeta.</i></p>	<p>Q11 - Explica de que forma a pandemia COVID19 provoca alterações na dinâmica do planeta.</p> <p><i>F11 - Fomentar a compreensão holística do Sistema Terra e promover a reflexão sobre a interação e influência recíproca dos subsistemas terrestres na dinâmica do planeta.</i></p>
--	---

imperativa e indispensável para a promoção de um desenvolvimento sustentável na atual controversa época, o Antropoceno.

O Sistema Terra e a interação dos seus subsistemas

Falar no Sistema Terra pressupõe a abordagem à Ecologia, enquanto ciência que explora as complexas interações entre o mundo vivo e a natureza. O termo ecologia terá sido criado pelo biólogo alemão apologista das ideias de Darwin, Ernst Haeckel (em 1866), definindo-o como sendo a ciência que estuda o conjunto das relações dos organismos entre si e com o mundo exterior (Lévêque, 2002). Independentemente das diferentes facetas que esta área do conhecimento foi assumindo, o seu estudo tem implícita a noção de ecossistema e as inter-relações entre os sistemas biológicos e os sistemas físicos e químicos. Segundo Frontier (2001), um sistema pode ser considerado isolado, fechado ou aberto, tendo em conta as trocas de matéria e energia que nele ocorrem. Um sistema diz-se isolado quando não se verificam trocas de matéria e energia com o exterior (meio), sendo um sistema fechado aquele onde não há troca de matéria (ou ela é tão pequena que se torna insignificante) mas verifica-se, no entanto, troca de energia. Um sistema aberto apresenta trocas de matéria e energia com o meio. Na natureza, um sistema nunca está isolado nem fechado em si mesmo (exceto, neste último caso, o próprio Sistema Terra). Antes pelo contrário, apresenta uma dependência relativamente aos elementos que fazem parte do meio que o caracteriza, sendo por isso um sistema aberto. Para Branco (2014), a raiz do conceito de sistema é “um conjunto de elementos que se inter-relacionam, estão organizados sob certo arranjo e são dotados de algum grau de complexidade” (Fig. 1). A influência é recíproca, pois os vários subsistemas do meio são sistematicamente condicionados pelas interações existentes.

Todos os sistemas se relacionam entre si e o seu conjunto integrado faz emergir um sistema de segunda ordem ou “sistema de sistemas”, decorrendo de um segundo nível de integração, do qual resultam propriedades novas (Frontier, 2001). Na natureza, cada organismo constitui um sistema aberto que mantém trocas contínuas com o exterior, sem as quais não poderia existir nem conseguiria manter uma dinâmica com o seu próprio meio interno. Tudo se conjuga num sistema complexo de interações que se ajustam na concor-

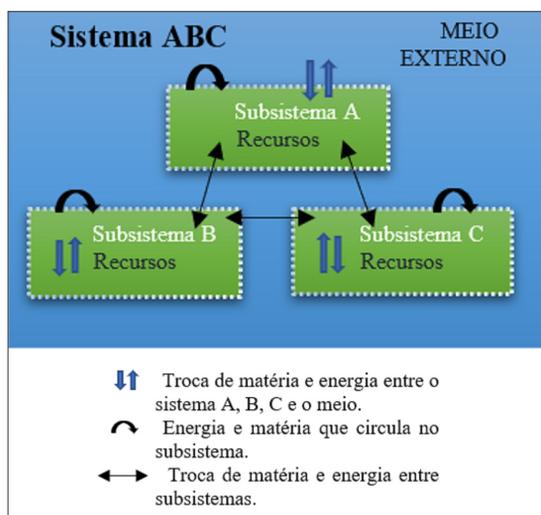


Figura 1. Representação esquemática das interações que ocorrem no sistema natural ABC

dância com os processos naturais de autorregulação e autossustentação.

O campo de estudo das Ciências dos Sistemas Terrestres (onde se inclui as Ciências Naturais) promove a visão holística do Sistema Terra (Fig. 2), nomeadamente, reforçando as interligações entre os seus subsistemas (biosfera, atmosfera, hidrosfera, criosfera e geosfera) (Orion, 2007). Devemos compreender o Sistema Terra como um sistema em constante interação, sendo permanente a reciclagem de matéria e energia que passa entre os subsistemas (Orion, 2019). Os subsistemas terrestres são, por isso, considerados sistemas abertos e dinâmicos e a alteração do estado de equilíbrio de um destes subsistemas tem repercussões nos restantes. Mudanças nos subsistemas terrestres possuem consequências a diferentes escalas (espacial e temporal), com impactos sobre os ecossistemas, a biodiversidade, os ciclos biogeoquímicos, o sistema climático, além da viabilidade das próprias atividades humanas (Bauni et al., 2015, Ojima et al., 1994, Verburg et al., 2015, Zhao et al., 1999, citado em Branco et al., 2017). O impacto do efeito estufa e da camada de ozônio no clima (atmosfera) e na biodiversidade (biosfera), os danos irreversíveis no meio (geosfera) causados pela exploração e consumo excessivo de recursos naturais, inclusive, nas massas de gelo da Terra (criosfera) e na escassez de água (hidrosfera), ressaltam a urgência de encontrar resposta à ação do Homem no planeta.

As Nações Unidas reconhecem que os habitats degradados podem conduzir a uma diversificação de doenças, à medida que os agentes patogênicos se



Figura 2. Ilustração dos subsistemas do Sistema Terra

espalham pelos animais domésticos e seres humanos (UNEnvironmentprograme, 2020). No caso da atual pandemia da Covid-19, a OMS salienta a possibilidade de ser um animal (biosfera) a provável fonte de transmissão do coronavírus para o ser humano, por meio do ar (atmosfera) ou outra fonte contaminada, como água, alimentos, entre outros (hidrosfera, geosfera). Torna-se importante reconhecer e compreender como os subsistemas terrestres se relacionam, para garantir o bem-estar das populações presentes, mas também, a salvaguarda de gerações futuras.

Contrariamente a outras espécies, o Homem foi introduzindo alterações físicas, químicas e ambientais, com repercussões ecológicas significativas, à escala local e global (Ellis, 2015), afetando os padrões, os processos e a dinâmica evolutiva dos ecossistemas. Seja por causas naturais ou antrópicas, os ecossistemas estão sujeitos a alterações constantes no seu funcionamento e equilíbrio dinâmico. Assim, as espécies neles existentes, incluindo o Homem, têm de se conseguir adaptar às novas condições do meio, salvaguardando o risco de extinção. O ser humano tem a capacidade e a obrigação de agir para prevenir riscos e mitigar os efeitos negativos da sua própria ação na Terra. No entanto, apesar dos problemas ambientais emergentes, a ideia de que a Terra está em perigo é errada, pois ela continuará a sua história ao longo de milhões de anos. Em risco, estão as espécies que nela habitam que poderão ter ou não a capacidade de adaptação, tão rápida quanto necessária, para a sua sobrevivência. Sendo certo

que o comportamento humano é uma ameaça à sustentabilidade dos subsistemas terrestres, a sua consciência e alteração de comportamentos é, atualmente, consensual e indiscutível. Recorrendo à analogia de Wohlleben (2017), o Sistema Terra funciona como um mecanismo de engrenagem de um grande “relógio”, onde cada peça se encaixa numa sintonia perfeita. Em funcionamento ao longo de milhões de anos, a máquina vai dando continuamente sinais de fraqueza e de alterações significativas na sua superfície. Tal como no mecanismo interno do relógio, se movimentarmos erradamente ou removermos um dos seus elementos, esta ação provoca uma reação em cadeia que altera o seu funcionamento. Para Wohlleben (2017), interferir na dinâmica de cada um dos subsistemas que caracterizam a Terra, até mesmo as pequenas intervenções, pode ter consequências enormes e inesperadas na intrincada e complexa rede de processos naturais. O Sistema Terra evoluiu a partir da interação e da dinâmica entre os subsistemas terrestres, com a adaptação e a evolução dos seres face à necessidade de sobrevivência, de forma instintiva ou consciente. A analogia do relógio é feita apenas no sentido de entendermos que o Sistema Terra é um conjunto complexo de componentes cujo funcionamento ininterrupto pode, a qualquer momento, ficar comprometido e desequilibrado, seja pela intervenção humana ou por causas naturais. De salientar, contudo, que a Terra é um sistema com capacidade natural de autorregulação, a partir de uma rede complexa de interações e mecanismos de *feedback* (Fig. 3) (ESA, 2006). Compreender o comportamento não linear do Sistema Terra implica assim considerar todos os componentes terrestres, desde a atmosfera, a hidrosfera, a criosfera, a biosfera, a geosfera e, ainda, os processos que ocorrem no interior do planeta, em associação com a fonte de energia primária – o Sol, a partir do qual o sistema é gerido.

Um dos grandes desafios do século XXI, é saber coexistir de forma sustentável com o meio ambiente. Mas a capacidade de o fazer implica, desde logo, o desenvolvimento de uma alfabetização ambiental e o entendimento de que todos somos seres inevitavelmente parte dos sistemas terrestres, e que o nosso comportamento está constantemente a afetar e a ser afetado por tudo o que é natural e humano (Sterling, 2010). Sendo certo que a natureza consegue reparar-se a si própria em certas circunstâncias, sabemos também que isso requer tempo. Isto é, apesar dos

subsistemas terrestres funcionarem e evoluírem no sentido de se reequilibrarem, não é, no entanto, algo imediato ou tão rápido quanto necessário. Por exemplo, uma floresta após um incêndio desenvolverá uma sucessão ecológica secundária, com o repovoamento de comunidades pioneiras até à comunidade clímax, estável e em equilíbrio dinâmico com o meio, sendo este um processo gradual e lento (de décadas a centenas de anos). A extração de recursos minerais a céu aberto (pedreiras), partindo da destruição do coberto vegetal e consequente eliminação de ecossistemas, representa outro dos exemplos da difícil e morosa recuperação da paisagem e do ecossistema intervenção. Note-se que se os desequilíbrios forem recorrentes, os ecossistemas podem, inclusive, perder a capacidade de recuperação.

A Tabela 2.I apresenta um conjunto de questões para a orientação de trabalho autónomo

Tabela 2.I. Debate entre pares (8º e 10º ano), questões guia para orientação de trabalho autónomo

Debate entre pares

(em trabalho de grupo, os alunos refletem sobre o texto apresentado, respondendo às questões propostas)

8º ano	10º ano
Q1 - O documento faz referência à ecologia, enquanto ciência que procura compreender o Sistema Terra. Indica o que estuda esta ciência.	Q1 - Explica de que forma a Ecologia contribui para a compreensão do Sistema Terra.
Q2 - Comenta a seguinte afirmação: “Os subsistemas terrestres são considerados sistemas abertos.”	Q2 - Comenta a seguinte afirmação: “Os subsistemas terrestres são considerados sistemas abertos.”
Q3 - Identifica o subsistema à qual pertencem as dunas e o solo.	Q3 - Explica uma interação possível entre os subsistemas aos quais pertencem um solo e um rio.
Q4 - Descreve uma interação que ocorre entre a biosfera e a geosfera.	Q4 - Prevê o que aconteceria na biosfera se ocorrer um desequilíbrio na geosfera, como a desflorestação.
Q5 - Todos os seres vivos estão condicionados pelo ambiente que os rodeia. Justifica de que forma o ambiente pode colocar em causa a existência do Homem no planeta.	Q5 - Comenta a seguinte afirmação: “Todos os seres vivos são influenciados e influenciam o ambiente que os rodeia”.
Q6 - Explica, tendo em conta os dados apresentados no documento, em que medida a propagação do coronavírus influencia a composição da atmosfera e o equilíbrio do Sistema Terra.	Q6 - Explica, tendo em conta os dados apresentados no documento, em que medida a propagação do coronavírus influencia a composição da atmosfera e o equilíbrio do Sistema Terra.
Q7 - Comenta a seguinte afirmação: “Pensar que a Terra está em perigo é uma ideia errada”.	Q7 - Se fosses um ativista ambiental, que slogan usarias para um alerta de consciencialização global.
Q8 - Com base na figura 3, elabora um pequeno texto para o jornal da tua escola que alerte e consciencialize a comunidade escolar para a necessidade urgente de mudança de comportamentos. Se preferires, faz um podcast para a rádio.	Q8 - Com base na figura 3, elabora um pequeno texto para o jornal da tua escola que alerte e consciencialize a comunidade escolar para a necessidade urgente de mudança de comportamentos. Se preferires, faz um podcast para a rádio.

dos alunos, promovendo o trabalho de grupo e o debate entre pares, assessorado pelo professor.



Figura 3. Interações na dinâmica do Sistema Terra

Os subsistemas terrestres

Da biosfera fazem parte todos os organismos vivos que habitam o planeta, embora o conceito seja geralmente alargado para incluir também os seus habitats englobando, por isso, os ecossistemas terrestres e oceânicos. Segundo Moreira (2015), a biosfera pode ser definida como a camada superficial da Terra capaz de suportar vida, isto é, o conjunto de todos os ecossistemas da Terra. Na visão de Moreira (2015) e numa perspetiva ecológica, a biosfera é o “ecossistema global”, que incorpora a biodiversidade na Terra e as funções biológicas a ela relacionadas, como a fotossíntese, a respiração e a decomposição. Acrescenta, ainda, ser um sistema dinâmico que está sujeito a ciclos sazonais que afetam diretamente a produtividade primária e, conseqüentemente, os processos biológicos que dependem da energia capturada pela fotossíntese. A ação de fatores como a temperatura, os gases atmosféricos, a água, o solo ou a luminosidade condicionam diretamente o comportamento e a atividade das espécies, atuando a seleção natural de modo diversificado sobre os indivíduos existentes em cada região. Enquanto sistema dinâmico aberto, as transformações que ocorrem na biosfera implicam processos de reciclagem e redistribuição de elementos químicos por meio das interações entre os meios biótico e abiótico, a que designamos ciclos biogeoquímicos (Summons, 1993), como o ciclo da água, do nitrogênio, do carbono e do oxigênio. O oxigênio (O_2) disponível no meio foi indispensável à evolução dos seres vivos na Terra e à existência de vida, tal como a conhecemos (Moreira, 2015) que, para além de permitir a respiração dos organismos, é responsável pela formação da camada de ozono (O_3) protetora dos raios UV. Por seu lado, a atmosfera primitiva rica em dióxido de carbono, sofreu gradualmente alteração da sua composição, transformando-se numa atmosfera rica em oxigênio, resultante da ação dos primeiros organismos unicelulares fotossintéticos, que surgiram há cerca de 3500 milhões de anos. As contribuições biológicas, geológicas e químicas decorrentes nos ciclos, são fundamentais na transformação recíproca de matéria orgânica em matéria inorgânica, só possíveis devido à interação entre os seres vivos e a atmosfera, a hidrosfera e a geosfera (Summons, 1993).

A geosfera (ou litosfera), é constituída pela parte mais superficial da Terra que se encontra no estado sólido (tal como as grandes massas continentais e

os fundos oceânicos) e também pelos materiais do interior da Terra dispostos em camadas concêntricas (Dias et al., 2014). Representa, de forma simples, o interior da Terra, o substrato rochoso e o solo. A litosfera é dinâmica, encontrando-se em constante transformação devido à ação de agentes exógenos (fatores de erosão, como por exemplo, a ação do vento, da água ou dos seres vivos) e endógenos (como a tectónica ou a sismicidade) (Monteiro et al., 2021). Este subsistema é maioritariamente formado por elementos químicos como o silício, o alumínio e o magnésio, e por rochas com características distintas, as rochas sedimentares, metamórficas e magmáticas. A parte superior da geosfera funciona como o suporte físico dos seres vivos e o local onde estes obtêm os recursos naturais necessários à sua sobrevivência, mas também os que são indispensáveis ao progresso científico e tecnológico da Humanidade, por meio da extração de recursos minerais.

A hidrosfera, segundo Lévêque (2002), engloba o conjunto de reservatórios de água no planeta (mares, oceanos, rios, lagos e águas subterrâneas). Do total de água encontrado na Terra, 97% corresponde à água salgada e apenas 3% engloba a água doce, sendo a componente fundamental da dinâmica da natureza, sem o qual a vida na Terra seria impossível (Tundisi, 2003). No entanto, a água doce disponível ao Homem, a que se encontra no estado líquido, corresponde a menos de 1% do volume total, encontrando-se nos lagos, rios e continentes (águas subterrâneas). A água está em constante circulação no planeta por intermédio do ciclo hidrológico (ou ciclo da água), dependendo de vários fatores (como a energia solar, o vento e a gravidade) e por meio de vários processos (nomeadamente, a evaporação, a precipitação, a condensação, a transpiração e a infiltração) (Tundisi, 2003). Este autor refere, ainda, que a água é um recurso natural de extrema importância para o desenvolvimento humano, pela satisfação das suas funções vitais, tal como a outros organismos, mas também, pela obtenção de um conjunto de atividades e serviços característicos das sociedades evoluídas, como a produção de energia, navegação, produção de alimentos, uso doméstico, desenvolvimento industrial, agrícola e económico.

A criosfera é o subsistema da Terra que engloba toda a água sólida na superfície do planeta, desde as áreas cobertas de neve, aos glaciares, aos lençóis de gelo ou ao solo, temporária ou permanentemente congelado (*permafrost*) (Orion, 2019). Os oceanos

cobrem 71% da superfície terrestre, correspondendo os glaciares e lençóis de gelo a cerca de 10% da sua superfície (IPCC, 2019). Segundo o relatório do IPCC de 2019, todas as pessoas dependem, direta ou indiretamente do oceano e da criosfera, uma vez que estes suportam habitats únicos, interligados com outros componentes do sistema climático, por meio do intercâmbio global de água, energia e carbono. O sistema criosférico é inseparável do sistema de água doce, nomeadamente, e a título de exemplo, porque o fluxo destas massas de água condiciona, em grande medida, a temperatura, a salinidade, o gelo marinho e a circulação do Oceano Ártico (Goodison et al., 2007, p. 286). A este propósito, o rápido recuo e a diminuição da cobertura de gelo do Oceano Ártico verificado nas últimas décadas, representa uma das manifestações mais significativas da mudança climática global (Stroeve et al., 2012).

A atmosfera representa a camada gasosa que envolve a Terra, constituída por gases indispensáveis à vida, desempenhando um papel importante na regulação do clima, na proteção contra as radiações solares e do impacto de meteoritos na Terra (Lévêque, 2002). À medida que a distância à superfície terrestre aumenta, a atmosfera torna-se cada vez menos densa, sendo que a concentração dos gases varia em função da altitude e, conseqüentemente, da pressão e da temperatura (Latorre et al., 2002). Dentre os gases existentes, destacam-se os que apresentam composição fixa, como o nitrogénio (N), o oxigénio (O₂) e o árgon (Ar), e os que revelam uma composição variável e se encontram em menor concentração, como o dióxido de carbono (CO₂), o vapor de água (H₂O), o metano (CH₄) ou o ozono (O₃) (Latorre et al., 2002). O N e o O₂ estão presentes na atmosfera numa percentagem de 78% e 21%, respetivamente.

Embora numa concentração baixa, os restantes gases são essenciais à manutenção da vida na Terra, uma vez que contribuem para o efeito estufa que permite o aquecimento e a estabilidade térmica do planeta. Sem os gases de efeito de estufa (GEE), a temperatura média global seria significativamente mais baixa ($\approx -18^{\circ}\text{C}$) que o valor existente atualmente (15°C) (Monteiro et al., 2021). O aumento destes gases na atmosfera provoca um maior efeito de estufa e, por conseguinte, uma retenção excessiva de calor na superfície do planeta, implicando um maior aquecimento global e alterações nos sistemas terrestres. A interação entre a hidrosfera e a atmosfera tem efeitos significativos na vida diária das populações, especificamente, ao nível da economia dos países, nos padrões de produção agrícola, em eventos climáticos severos, nos padrões de biodiversidade e geografia humana (Hoffman & Barstow, 2007).

Compreender o funcionamento de cada um dos subsistemas terrestres, de forma individual, mas também como estes interagem e se influenciam, permite obter uma visão sistemática da ecologia – denominada *ecologia dos sistemas*, onde se incorporam as relações bióticas com as funções desempenhadas pelos ecossistemas. Esta abordagem integrada coloca em evidência os fatores abióticos como elementos estruturantes dos ecossistemas (Lévêque, 2002).

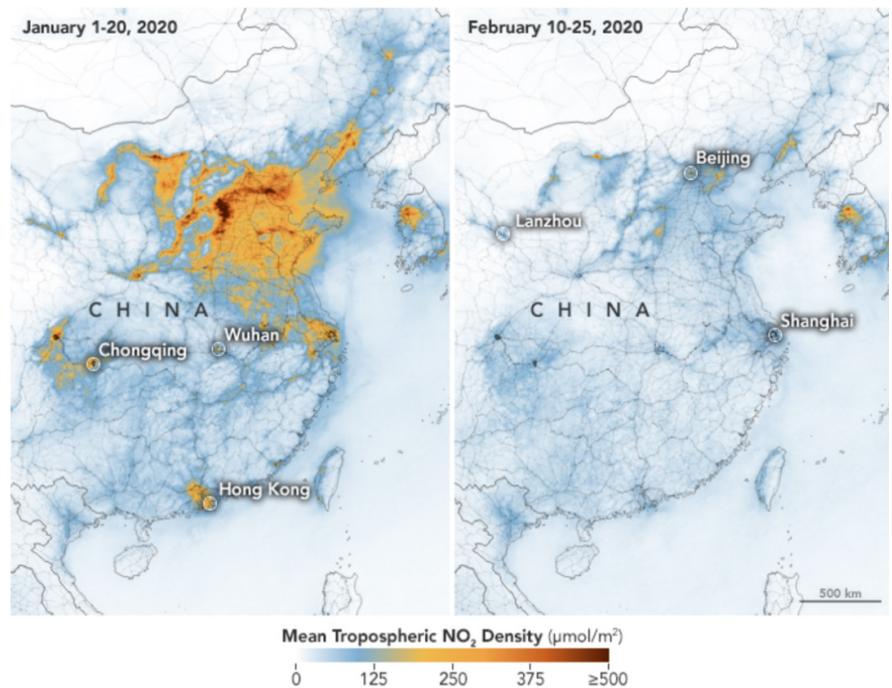


Figura 4. Imagem de monitorização de poluição na China: Concentração de NO₂ na China, nos meses de janeiro e fevereiro de 2020

Tabela 3.I. Atividade de campo (8º e 10º ano)

Atividade de campo (A)	
8º ano	10º ano
A1 - Identifica os subsistemas terrestres que observas no recreio da escola.	A1 - Identifica os subsistemas terrestres que observas no recreio da escola.
A2 - Refere exemplos de interações entre os subsistemas que observas.	A2 - Refere exemplos de interações entre os subsistemas que observas.
A3 - Tendo em conta os ODS definidos na Agenda 2030 da ONU, identifica um problema local da tua comunidade.	A3 - Tendo em conta os ODS definidos na Agenda 2030 da ONU, identifica um problema local da tua comunidade.
A4 - Dinamiza na tua escola, em trabalho de grupo/turma uma ação de sensibilização que potencie a resolução do problema que identificaste.	A4 - Dinamiza na tua escola, em trabalho de grupo/turma uma ação de sensibilização que potencie a resolução do problema que identificaste.

Neste sentido, e a título de exemplo, imagens de satélite recentemente divulgadas pela NASA e pela ESA (Fig. 4) permitem verificar que a poluição atmosférica, na China, diminuiu nos últimos meses com redução significativa de dióxido de nitrogénio no ar (resultado do estado de quarentena da população devido ao perigo de contágio pelo coronavírus). A diminuição de NO₂ decorreu da interrupção de produção em muitas fábricas e à restrição de circulação de transportes, por motivos de confinamento social. Este é um exemplo de interação entre os subsistemas terrestres, e em como a atividade humana interfere e influencia sistematicamente a composição e qualidade atmosférica, com repercussão nos ecossistemas. O aquecimento global, a diminuição das massas glaciares, a variação do nível do mar e a alteração dos fluxos de circulação das águas, e, ainda, as modificações do clima regional e global, são alguns de entre outros potenciais efeitos resultantes do desequilíbrio dos sistemas terrestres.

O quadro 3.I apresenta um conjunto de atividades de aplicação prática de modo a consolidar as aprendizagens discutidas nas seções anteriores, com atividades de campo no espaço escolar.

Considerações finais

A ciência está presente, direta ou indiretamente, no quotidiano de todos os cidadãos. Tornam-se, por isso, indispensáveis o conhecimento e a compreensão de determinados conceitos para o desenvolvimento de uma consciência ambiental individual, promotora da intervenção dos indivíduos na resolução de problemas diários, mas também, globais.

O desejado desenvolvimento sustentável está dependente, hoje mais do que nunca, que todos os intervenientes compreendam o seu papel nas ações que assumem contra o planeta, enquanto agentes capazes de provocar alterações com consequências no equilíbrio do Sistema Terra. A educação é importante para o progresso humano, nomeadamente, a educação em Ciência que advém da escola, sendo relevante e essencial para o desenvolvimento sustentado de uma cidadania ativa responsável dos jovens cidadãos.

A abordagem ao Sistema Terra é a visão holística das Ciências da Terra que enfatiza o estudo do padrão cíclico de transformação de matéria e energia que circula pelos subsistemas terrestres: geosfera, biosfera, atmosfera, hidrosfera e criosfera. Importa reconhecer que os subsistemas estão em constante mudança e que os processos que influenciam os sistemas terrestres o fazem a várias escalas, de espaço e tempo, sendo influenciados por causas naturais e por causas resultantes das atividades antrópicas.

Agradecimento

Este trabalho foi realizado com o apoio de Fundos Nacionais (pela Fundação para a Ciência e Tecnologia) e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (COMPETE2020 e PT2020) pelos programas estratégicos UIDB/04423/2020 e UIDP/04423/2020. Sara Antunes é investigadora auxiliar contratada por meio do Regulamento do Emprego Científico e Tecnológico (RJEC) do programa da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) (CEEC-IND / 01756/2017).

Referências

- Abrunhosa, M., Chambel, A., Peppoloni, S., & Chaminé, H. I. (2021). Advances in Geoethics and Groundwater Management: Theory and Practice for a Sustainable Development. In: Abrunhosa, M., Chambel, A., Peppoloni, S., & Chaminé, H. I. (Eds.). (2021). *Proceedings of the 1st Congress on Geoethics and Groundwater Management*. Springer. 523p. doi: 10.1007/978-3-030-59320-9.
- Assaraf, O. B., & 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. doi: 10.1002/tea.20061.
- Barzagli, F., & Mani, F. (2019). The increased anthropogenic gas emissions in the atmosphere and the rising of the Earth's temperature: are there actions to mitigate the global warming? *Substantia*, 3(1), 101-111. doi: 10.13128/Substantia-69.
- Branco, E. A., Roquetti, D. R., & Moretto, E. M. (2017). O sistema terrestre (land system) como plataforma de integração e interpretação das complexas relações ambiente-sociedade. *Sustentabilidade em Debate*, 8(3), 111-125. doi: 10.18472/SustDeb.v8n3.2017.24518.
- Batzri, O., Assaraf, O. B. Z., Cohen, C., & Orion, N. (2015). Understanding the Earth Systems: Expressions of Dynamic and Cyclic Thinking Among University Students. *Journal of Science Education and Technology*, 24(6), 761-775. doi: 10.1007/s10956-015-9562-8.
- Dias, A. J. G., Freitas, M. C. A. O., Guedes, F., & Bastos, M. C. (2014). *Geosfera. Rev. Ciência Elem.*, 2(1), 107. doi: 10.24927/rce2014.107.
- Ellis, C. E. (2015). Ecology in an anthropogenic biosphere. *Ecological Monographs*, 85(3), 287-331. doi: 10.1890/14-2274.1.
- European Space Agency (ESA). (2006). *The Changing Earth: New Scientific Challenges for ESA's Living Planet Programme*. European Space Agency, ESA.
- Frontier, S. (2001). *Os Ecossistemas*. Lisboa. Instituto Piaget.
- Goodison, B., Brown, J., Jezek, K., Key, J., Prowse, T., Snorrason, A., & Worby, T. (2007). Presente y futuro de la criosfera polar, incluyendo la variabilidad del ciclo hidrológico ártico. *Boletín de la OMM*, 56(4), 284-292.
- Hoffman, M., & Barstow, D. (2007). *Revolutionizing Earth System Science Education for the 21st Century. Report and Recommendations from a 50-State Analysis of Earth Science Education Standards*. Cambridge. TERC, Center for Earth and Space Science Education.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). Summary for Policymakers. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [Potner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., & Weyer, N. (Eds.)]. (no prelo).
- Latorre, M. L., Júnior, O. A. D. C., Carvalho, A. P. F. D., & Shimabukuro, Y. E. (2002). Correção atmosférica: conceitos e fundamentos. *Espaç. Geogr.*, 5(1), 153-178.
- Lévêque, C. (2002). *Ecologia: do Ecossistema à Biosfera*. Instituto Piaget. Lisboa.
- Monteiro, A. F. M., Yamamoto, A. L. C., Silva, P. N., & Reboita, M. S. (2021). Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. *Terra Didática*, 17, 1-12. doi: 10.20396/td.v17i00.8663763.
- Moreira, C. (2015). Biosfera. *Rev. Ciência Elem.*, 3(2), 113. doi: 10.24927/rce2015.113.
- Oliveira, M. J. C., Barbosa, R., Carneiro C. D. R., & Nobre, H. M. (2021). Comunicação pública da Ciência diante das coalizões em conflito sobre aquecimento global. *Terra Didática*, 17, 1-13. doi: 10.20396/td.v17i0.8663967.
- Orion, N. (2007). A Holistic Approach for Science Education For All. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(2), 99-106. doi: 10.12973/ejmste/75382.
- Orion, N. (2019). The future challenge of Earth science education research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(3), 1-8. doi: 10.1186/s43031-019-0003-z.
- Ribeiro, T., Cardoso, A., Silva, J., Lima, D., & Vasconcelos, C. (2021). Chamadas de Geoética: Um Módulo Interativo para Comunicar Geociências. In: Abrunhosa, M., Chambel, A., Peppoloni, S., & Chaminé, H. I. (Eds.). (2021). *Advances in Geoethics and Groundwater Management: Theory and Practice for a Sustainable Development*. Springer. p. 363-366.
- Silveira, L. M. da, & Petrini, M. (2018). Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social Corporativa: uma análise bibliométrica da produção científica internacional. *Gestão & Produção*, 25(1), 56-67. doi: 10.1590/0104-530x3173-16
- Sterling, S. (2010). Living in the Earth: Towards an Education for Our Tim. *Journal of Education for Sustainable Development*, 4(2), 213-218. doi: 10.1177/097340821000400208.
- Stroeve, J. C., Kattsov, V., Barrett, A., Serreze, M., Pavlova, T., Holland, M. & Meier, W. N. (2012). Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations. *Geophysical Research Letters*, 39(16). doi: 10.1029/2012gl052676.
- Summons, R. E. (1993). Biogeochemical cycles. In: Engel, M. H., & Macko, S. A. (Eds.). *Organic Geochemistry*. Springer. pp. 3-21.
- Tundisi, J. G. (2003). Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. *Cien. Cult.*, 55(4), 31-33.
- UNEnvironmentprograme (2020). *Coronavirus outbreak highlights need to address threats to ecosystems and wildlife*. United Nations. UNEP. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/coronavirus-outbreak-highlights-need-address-threats-ecosystems-and-wildlife>. Acesso 3.03.2021
- United Nations. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations.
- Vasconcelos, C., & Orion, N. (2021). The Earth sciences education as a key component of the education for sustainability. *Sustainability*, 13(3), 1316. doi: 10.3390/su13031316.
- Wohlleben, P. A. (2019). *Sabedoria Secreta da Natureza*. Lisboa. Ed. Pergaminho.