

Interdisciplinaridade: exemplos da Terra ao Espaço

João Fernandes¹ & Joana Lobo Fernandes²

¹ Universidade de Coimbra, CITEUC – Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Matemática, Observatório Geofísico e Astronómico, Apartado 3008 EC Santa Cruz, P-3001 501 Coimbra, Portugal.

E-mail: jmfernan@mat.uc.pt

² Instituto Politécnico de Coimbra, ICNOVA - Instituto de Comunicação da NOVA, CEIS20 - Centro de Estudos Interdisciplinares do Século XX, Escola Superior de Educação, Rua D. João III,

P-3030 329 Coimbra, Portugal. E-mail: joanaf@esec.pt

Resumo: Perante os desafios que se colocam hoje em dia aos estudantes do ensino superior e profissionais de amanhã, parece ser inequívoco que estes terão de ser construtores de conhecimento e de soluções que, para serem inovadoras, deverão conjugar abordagens, metodologias e conteúdos múltiplos e entrelaçados de forma única. Por isto mesmo, um capítulo dedicado à interdisciplinaridade é uma ocasião para elencar quais as competências que devem ser trabalhadas para enfrentar o novo milénio, mas ainda para sublinhar a complexidade inerente aos temas que urge resolver. O presente texto propõe, também, uma aplicação da interdisciplinaridade que é igualmente uma ilustração dos já referidos desafios de hoje e de um futuro próximo. Os exemplos das Ciências da Terra e do Espaço são emblemáticos porque condensam uma dose de conhecimento adquirido e consolidado com questões em aberto, cuja resposta vai poder ser dada, na medida em que diversas equipas, de proveniência científica distinta, vão conseguir comunicar entre si, gerar informação e conhecimento novos, e coordenar-se para um desígnio comum, em nome da ciência, da inovação e do desenvolvimento.

Palavras-chave: Ciências da Terra e do Espaço, Competências para o século XXI, Interdisciplinaridade.

Abstract: *In view of the challenges that higher education students (as emerging professionals) face today, it seems to be unequivocal that they will have to be builders of knowledge and solutions that, in order to be innovative, must combine multiple and interconnected approaches, methodologies and content, intertwined as unique. For this reason, a chapter dedicated to interdisciplinary is an occasion to list which competences have to be worked on, to face the new millennium but also to underline the inherent complexity of the issues that need to be resolved. This text proposes an application of interdisciplinary that is also an illustration of the challenges mentioned today and in the near future. The examples of Earth and Space Sciences are emblematic because they condense a knowledge acquired and consolidated with open questions, whose answer could just be given as different teams, of different scientific origin, will be able to communicate with each other, in order to generate new information and knowledge, and to coordinate themselves for a common purpose, in the name of science, innovation and development.*

Keywords: *Earth and Space Sciences, 21st century skills and competences, Interdisciplinary.*

Introdução

A passagem ao novo milénio proporcionou a oportunidade de fazer um exercício sobre o antes e depois, o agora e o futuro, ou ainda, o que fazemos e como podemos passar a fazer. Como viragem simbólica, apelou a um raciocínio reflexivo e convidou a fazer uma nova síntese, a assumir um rumo futuro. Embora não entendendo este marco temporal como uma data fixa, mas antes como um horizonte próximo a cumprir, a mudança de milénio é, assim, uma efeméride que convida a fazer um balanço.

A academia não foi exceção e, olhando para o novo milénio, acentuou-se o debate em torno das competências (*skills*) necessárias para ganhar os desafios do século XXI, com a preocupação de dotar os *New Millennium Learners* (Ananiadou & Claro, 2009) dos meios e recursos cognitivos e reflexivos apropriados. No caso específico em que nos situamos, interessa-nos perceber que, com um futuro próximo a chegar-nos de forma acelerada, é imperioso refletir sobre a capacidade para dar resposta a essa nova ordem de problemas e desafios. E a academia é um espaço por excelência onde essa reflexão pode e deve ocorrer.

Este texto parte de uma reflexão sobre quais as competências para perceber e atuar o/novo milénio, apresentando exemplos de interligação entre as Ciências da Terra e do Espaço, enquanto terreno propício para uma aplicação integrada de saberes e concretização de real interdisciplinaridade. Neste artigo, o termo “Ciências do Espaço” aplica-se no contexto de estudo dos objetos extraterrestres. Em contrapartida, as técnicas espaciais para o estudo, observação e monitorização do nosso planeta (tais como a deteção remota ou de posicionamento por satélite) são neste artigo classificadas como “Ciências da Terra”.

No presente ou num futuro já muito próximo, explana-se a necessidade de integrar várias disciplinas e de adotar “uma abordagem conjunta para superar barreiras institucionais, disciplinares e individuais à produção e inovação de conhecimento” (Power & Handley, 2019, pp. 554-555).

O papel das instituições de ensino superior na formação dos futuros profissionais

Missão do ensino superior e impactos gerados

No cumprimento da sua missão, uma instituição de ensino superior gera impactos determinantes em todos os membros da sua comunidade, com particular destaque em dois tipos (que são exclusivos e caracterizadores de uma instituição que se dedica ao ensino e investigação científica): os impactos educativos e os impactos cognitivos (Vallaey, 2017). Estes impactos podem ser positivos ou negativos esperando-se que cada instituição reflita sobre como potenciar os primeiros e atenuar os segundos. Os impactos educativos ou da “formação de pessoas” remetem-nos para o contexto de ensino-aprendizagem, para as competências que são transmitidas e a forma como estas habilitam o futuro profissional de uma qualquer área científica, para atuar de forma responsável, sustentável, ética e orientada para o benefício da sociedade como um todo. Já os impactos cognitivos, ou de “construção do conhecimento”, decorrem do contexto de investigação e questionam qual o conhecimento que é produzido, a sua pertinência social e de que forma este é disponibilizado para enriquecimento e valorização de todos (quem beneficia da sua difusão). O presente texto incide particularmente nos impactos educativos, embora estes não possam ser dissociados de uma reflexão integrada com os impactos de natureza cognitiva.

Impactos educativos ou formar para o século XXI

Numa avaliação sobre as competências necessárias para o século XXI, a OCDE apresenta uma síntese que evidencia que estas serão transversais, multidimensionais e conferindo uma aptidão para lidar com o imprevisível (Voogt & Roblin, 2012). Abrange todas as áreas do saber, conjugam conhecimento, competências e atitudes e, por isso, permitem lidar com problemas complexos e até então desconhecidos. O quadro referencial da OCDE integra três dimensões: a informação, a comunicação e a ética e impacto social (Ananiadou & Claro, 2009). Assim, a primeira dimensão remete para a capacidade de acesso, avaliação e organização da informação, em particular a que chega por via digital, a segunda atua como competência para o trabalho em cooperação, em ambiente colaborativo e de ação conjunta e a terceira impõe-se como *background* para aprender e trabalhar em contextos multiculturais e à escala global. Pensamento crítico, sentido de responsabilidade e capacidade para a tomada de decisão integram a terceira dimensão. Conjugadas, as três dimensões

preparam o estudante para os problemas complexos (*wicked problems*¹) que caracterizam o nosso milénio. Sabemos que aos futuros profissionais será exigida uma capacidade de resolução de problemas que extravasa a sua área de especialização e exige uma concertação de saberes, que será valorizada a competência para um trabalho em interdependência e de articulação com diferentes culturas, com métodos de investigação e de intervenção próprios e que será exigida uma utilização e gestão da informação, em tempo real e com apurado sentido crítico. Nesta nova equação, torna-se evidente refletir sobre a forma como o ensino superior pode ser um agente promotor deste perfil de profissional para o século XXI. Embora a organização estabelecida por este organismo internacional não seja única, Voogt & Roblin (2012) concluem que em comum todas apontam para uma matriz onde as competências de colaboração, de comunicação e de cidadania (competência cultural), às quais se agrega a literacia digital (na recolha, validação e utilização da informação veiculada por essa via) são elementos comuns. Acrescentando que todas estas competências, embora apontadas como requisito para o século XXI não são, *per si*, novas. A “novidade” reside então no facto de se apontar para a necessidade de formar os estudantes, de forma integrada e articulada, para o exercício destas competências.

Às instituições de ensino superior pede-se que formem “cidadãos socialmente responsáveis” [sendo] “crucial desenvolver a capacidade dos estudantes entrarem em contacto com visões distintas do mundo” (ORSIES, 2018, p. 70). Estas fazem-no por entenderem que, a par de uma formação técnica, são chamadas a dotar os alunos de uma formação integral e de serem “capazes de questionar e refletir criticamente sobre a realidade em que vivem e atuam” (*op. cit.*, p. 71) mas também (ou sobretudo) porque essa é uma exigência do mercado de trabalho, uma vez que “os desenvolvimentos na sociedade e na economia exigem que o sistema educativo equipe os jovens com novas competências, permitindo que estes beneficiem de novas formas emergentes de socialização e contribuam ativamente para o desenvolvimento económico, num sistema em que o principal ativo é o conhecimento” (Ananiadou & Claro, 2009, p. 5).

A interdisciplinaridade na resposta aos desafios educativos atuais

A interdisciplinaridade remete para um modelo de aprendizagem integrativa (Ashby & Exter, 2018) que, por seu turno, promove uma cultura que cruza vários saberes (Power & Handley, 2019). Apresenta-se como uma “marca das sociedades contemporâneas do conhecimento” (Mansilla, 2006, p. 2), sendo “reconhecida como tendo um grande potencial para abordar problemas complexos e promover a inovação” (Power & Handley, 2019, p. 555) logo, dando resposta aos desafios da atualidade

¹ A expressão de *wicked problems* passou a ser usada a partir dos anos 70 e inicialmente associada a problemas de natureza social que revelavam elevado nível de complexidade pelo que não podiam ser resolvidos por uma abordagem linear clássica a que a ciência, na sua fragmentação disciplinar, se tinha habituado. As características deste tipo de problemas permitem assumir que estes extravasam o campo social (Marques, 2017) pelo que se torna uma referência pertinente também aos desafios que se colocam aos/nos campos das ciências exatas. Os exemplos de aplicação que integram a segunda parte deste artigo evidenciam o facto das soluções equacionadas terem sido propostas a partir da convergência de olhares e saberes para alcançar um resultado acolhedor e valorizador da referida complexidade.

que, na sua generalidade, ocorrem numa “interseção fértil de múltiplas disciplinas” (Mansilla, 2006, p. 3). Enquanto abordagem educativa, a interdisciplinaridade caracteriza-se por colocar em diálogo diferentes disciplinas e metodologias de investigação científica, isto é, por facultar uma abordagem a partir da convergência de diferentes saberes, permitindo resolver problemas que uma só lente (de uma só disciplina) não abarcaria. Permite ao estudante aplicar os diferentes conhecimentos adquiridos, procedendo a uma síntese direcionada para a resolução de problemas. Não anula a importância de cada disciplina isoladamente, mas, ao colocá-las em diálogo, evidencia que o processo de produção do conhecimento não ocorre confinado em fronteiras estanques (Ashby & Exter, 2019). A interdisciplinaridade é, ao mesmo tempo, uma abordagem metodológica à investigação científica e ao ensino-aprendizagem, sendo meio para produzir o conhecimento e para o ensinar, compreender e disseminar. Esta abordagem desenvolve um enquadramento holístico dos problemas que se colocam à ciência, destacando as interdependências que emergem e facultando uma abordagem alargada, olhando para o mundo através de múltiplas lentes (idem). As autoras destacam ainda que é uma abordagem que permite ao estudante desenvolver um apurado raciocínio crítico (por exemplo: reconhecendo os limites de uma lente disciplinar exclusiva) e competências reflexivas (que resultam da integração de múltiplas, e nem sempre congruentes, informações e dados com que passam a lidar).

Mansilla (2006) oferece uma interessante síntese das três características centrais da definição de interdisciplinaridade, ao indicar que esta se faz perseguindo um propósito, é disciplinadora e é também integradora. Assim, é um meio para melhorar e incrementar a compreensão dos processos e problemas, agrega de forma organizada múltiplos saberes e metodologias para pensar e pesquisar e produz uma síntese que resulta do entrelaçamento (e não de uma mera justaposição) desses saberes, alavancando uma compreensão acrescida do que é estudado. A interdisciplinaridade oferece ao estudante uma oportunidade de aprendizagem significativa e compreensiva da dinâmica que se exige, cada vez mais, à investigação científica, reconhecendo que a integração disciplinar promove uma nova ordem cognitiva, “tornando visíveis as dimensões epistémica e cognitiva do trabalho disciplinar” e “ênfatizando particularmente a forma como as disciplinas se organizam para produzir um entendimento mais avançado” (*op. cit.*, p. 27).

Uma abordagem interdisciplinar do conhecimento e a sua aplicação na resolução de problemas adequa-se a uma realidade envolvente caracterizada pela incerteza e pela complexidade, onde os problemas atingem a escala global e geram variados efeitos inesperados. Nesse sentido, e em resposta a essa realidade, Power e Handley (2019, p. 568) afirmam a “exigência de integração da solução interdisciplinar de problemas nas experiências de aprendizagem dos estudantes, a fim de capacitá-los para a confusão e complexidade associadas aos desafios globais complexos”, sem deixarem de identificar obstáculos à sua adoção generalizada e em contexto de educação formal. A interdisciplinaridade, enquanto grelha de leitura e interpretação, tem ainda um caminho a traçar, para se expandir e generalizar.

A interdisciplinaridade alinhada com as competências para o século XXI

Esse caminho revela-se necessário, sendo inequívoco que existe uma interligação entre a aquisição das competências para lidar com o contexto de vida do novo milénio e as ferramentas que a interdisciplinaridade fornece. Com a introdução de temáticas interdisciplinares, cujos temas são, por natureza, dinâmicos e instáveis, estimula-se uma conexão entre disciplinas (Voogt & Roblin, 2012). As competências que identificámos para o novo milénio permitem lidar com estas conexões emergentes (que a interdisciplinaridade faz emergir).

Com a necessidade de preparar os alunos para serem “comunicativos, colaborativos, criativos, inovadores, com pensamento crítico e analítico e capazes de, efetivamente, resolver problemas do mundo real” (Zivkovik, 2016, p. 102), as instituições de ensino superior são compelidas a reverem a sua tradicional fragmentação dos saberes e uma visão monolítica, compartimentada e linear. A abordagem interdisciplinar oferece-se como uma resposta de valorização do novo contexto de atuação e vai ao encontro do apelo de Edgar Morin (Roveda, 2009, p. 437), para quem “a universidade deve preparar para o futuro, que é incerto e complexo, pois os problemas humanos, cósmicos e biofísicos são interdependentes no espaço e no tempo; eles são móveis e geralmente inacessíveis à razão instrumental”. Assim, para chegar à raiz do problema e desenhar uma solução razoável (Zivkovik, 2016), o estudante deve evidenciar competências consolidadas de pensamento crítico e estas adquirem-se no confronto com informação diversificada que é processada, questionada, confrontada e sintetizada, na integração em dinâmicas colaborativas de trabalho e de investigação, assentes em trocas comunicativas que procuram convergir para um resultado mutuamente satisfatório e integrando e respeitando a linguagem própria de cada saber e de cada investigador. Tudo isto, num contexto que é cada vez mais mediado pelas tecnologias pelo que a literacia digital se impõe como condição de sobrevivência. Entendamos que esse contexto é ele próprio propiciador de novas e alargadas interações e interdependências, bem características da já referida complexidade característica do século XXI.

“Precisamos de uma educação que permita um pensamento complexo e revolucionário, com novos horizontes e paradigmas, mais organizados entre si, menos separados ou divididos por disciplinas”, afirma Morin (Roveda, 2009, p. 440). A academia dos dias de hoje caminha a passos largos para uma resposta a este desafio, já presente e também futuro. Ciente de que deve preparar os seus estudantes para transformarem o futuro, a universidade do nosso tempo deve centrar-se na missão de “cidadãos planetários”, como afirma Morin, concentrados em pensar e interagir com as novas epistemologias que nos traz a sociedade atual (*op. cit.*, p. 434). A interdisciplinaridade em espaços académicos permite equacionar a nova ordem para ser, agir e entender o século XXI.

Na próxima secção daremos alguns exemplos de interdisciplinaridade entre as Ciências da Terra e do Espaço.

As Ciências da Terra e do Espaço: uma concretização de interdisciplinaridade

A 13 de março 1989 os sistemas elétricos do Quebec sofreram um “apagão”, durante quase nove horas. Este apagão, consequência de uma sobrecarga das subestações elétricas locais teve a sua origem num evento de atividade solar denominado ejeção de massa coronal, ocorrido uns dias antes. As ejeções de massa coronal manifestam-se por um aumento intenso e abrupto do fluxo de partículas carregadas que, ao chegarem à Terra, interagem com o campo geomagnético podendo provocar perturbações como as atrás referidas, por via da criação de correntes elétricas induzidas. A 15 de fevereiro de 2013, um asteroide de massa e dimensões estimadas de 10 000 toneladas e 17 metros colidiu com a Terra na zona dos Urais (na Rússia). Não houve vítimas mortais, mas foram mais de 1000 o número de feridos, resultado das ondas choque provocadas pelas explosões do meteorito, no seu impacto com a atmosfera. Estes exemplos ilustram dois tipos das ameaças do Espaço à segurança da Terra e das sociedades: a meteorologia espacial (*Space Weather* – SWE) e os objetos próximos da Terra com potencial de destruição (*Near Earth Objects* – NEOs). Estas ameaças obrigam a programas nacionais e transnacionais de monitorização e mitigação que podem ser resumidos em iniciativas de *Space Situational Awareness* (SSA)². A Agência Espacial Europeia estima que, em 2024, os danos provocados por fenómenos de SWE poderão custar 20,6 mil milhões de euros aos cofres europeus³.

Estas ameaças fazem uma clara interligação entre as Ciências da Terra e do Espaço. No caso do SWE temos a interação entre Sol e a Terra, essencialmente através do campo magnético terrestre e da atmosfera, em particular na ionosfera. Para além dos danos nos sistemas elétricos (Pinheiro et al., 2020), temos ainda a considerar que o referido aumento abruito da energia solar no seu impacto com a Terra, pode alterar consideravelmente o conteúdo de eletrões na ionosfera e assim provocar perturbações no sinal vindo dos satélites, em particular no que concerne as comunicações e os sistemas de navegação e posicionamento por satélite, tal como o GPS ou o GALILEO (Sreeja, 2016). Assim, os saberes astrofísicos e geofísicos são obrigados a combinarem-se se quisermos ter uma compressão integral do problema. Hoje é comumente aceite que o SWE inclui (diríamos em partes iguais) três comunidades de temas investigação: o Sol, o campo magnético terrestre e a ionosfera.

O estudo dos NEOs é igualmente uma área de transposição entre as Ciências da Terra e do Espaço. Se nos focarmos na mitigação do impacto destes corpos com a Terra, poderemos compreender a importância do seu estudo geomorfológico e de composição tendo em vista algumas das técnicas de mitigação como é o caso da deflexão da órbita, por exemplo por explosão de uma carga próxima do corpo (Hoerth et al., 2015). De facto, a condição necessária para que tais manobras possam ser executadas com sucesso, exigem o conhecimento das características do NEO tal como a massa, a forma, o eixo de rotação, o albedo, a topografia e a mineralogia, para além das propriedades do movimento e da órbita.

² SSA inclui ainda a componente de monitorização do lixo espacial (*Space surveillance and tracking* – ST)

³ <https://www.ptspace.pt/pt-pt/solar-orbiter-leva-tecnologia-portuguesa-a-atmosfera-solar/>

Os exemplos que em cima se apresentam têm implicações maiores na segurança da Terra e das sociedades. O que abaixo se refere tem também esta dimensão de segurança da Humanidade, mas numa perspectiva a mais longo prazo: habitabilidade de outros planetas do Sistema Solar. É secular a vontade da humanidade em viajar até outros planetas, até por uma questão de alternativa às ameaças internas e externas à Terra. Por outro lado, a mineração de asteroides tem vindo a ser considerado enquanto processo para a recolha de recursos naturais (Elvis, 2012). As missões tripuladas à Lua foram um marco importante na materialização deste desejo. Se é verdade que passados mais de meio século dessa aventura seminal não houve regressos, não é menos verdade que a “conquista” espacial foi-se desenvolvendo numa direção de não retorno. Desde dos *space shuttle* da década de oitenta, até à “aterragem” na superfície do cometa 67P/Churyumov–Gerasimenko em 2014, passando pela construção de Estação Espacial Internacional, sem esquecer o envolvimento das empresas privadas nestas demandas do espaço.

Nunca como hoje se perspectiva com realismo (e no prazo de algumas décadas apenas) viagens interplanetárias tripuladas bem como o início da colonização de planetas rochosos, como é o caso de Marte. Um empreendimento desta natureza é um exemplo ideal de um “carrefour” de saberes onde a as Ciências da Terra e do Espaço têm uma componente de destaque. Será decisivo para o sucesso das futuras missões um conhecimento aprofundado e global do planeta em causa, como são os seguintes exemplos: condições ambientais (seja o comportamento das atmosféricas, seja de exposição à radiação solar ou mesmo vulnerabilidade sísmica); características geomorfológicas que permitam escolher o melhor local para “amarciar”⁴ e para a construção de vias de transporte e de edificado; existência de reserva de água e formas de a canalizar para uma utilização corrente; condições dos solos tanto do ponto de vista da extração de minerais como da sua exploração para a alimentação; etc.

Nesta perspectiva multidimensional, Marte tem sido alvo de inúmeros estudos da topografia e cartografia da superfície. Os dados mais recentes apontam já para uma resolução espacial métrica (Hepburn et al., 2019). Este detalhe permite uma “geo”-referenciação suficientemente realista que torna credível experiências de realidade virtual imersiva que podem simular um “passeio” na superfície marciana (Hedley et al., 2019).

Todo este saber conjugado toma contornos particularmente interessantes e que se estendem para lá dos confins do Sistema Solar. De facto, todo o conhecimento que está a ser adquirido pelo estudo dos planetas (nomeadamente, Vénus, Terra e Marte) começa a ser usado para projetar as condições dos planetas telúricos extrassolares (Byrne et al., 2020).

Em outubro de 2019, o Prémio Nobel da Física foi partilhado por três investigadores: o americano James Peebles e os suíços Michel Mayor e Didier Queloz. O primeiro laureado viu reconhecida uma longa carreira de contribuições para a área da cosmologia teórica. No caso dos segundos, a Academia Real Sueca das Ciências destacou a descoberta do primeiro planeta extrassolar – um planeta que orbita uma estrela que não o Sol - , ocorrida em 1995, manifestando também um implícito desejo que

⁴ Neologismo que se propõe para indicar a operação de fazer pousar um veículo (tripulado ou não) na superfície marciana.

com o avanço da área “talvez se possa vir a responder a uma questões de sempre: existe Vida em outros locais do Universo?”⁵

Desde essa primeira descoberta (Mayor & Queloz, 1995), e até aos dias de hoje já foram confirmados mais de 4200 planetas em orbita de mais de 3000 estrelas⁶, sendo que em cerca de 700 destas podemos falar de sistemas planetários pois encontraram-se mais dois planetas em sua volta.

A existência de planetas em volta de outras estrelas era algo há muito imaginado. Durante séculos diferentes atores - das ciências à filosofia; das artes à teologia – discutiram, teorizaram, postularam sobre um Universo repleto de outras Terras. Um dos casos mais conhecidos é o sacrificado Giordano Bruno que na sua obra de 1584 “De l'Infinito, Universo e Mondi” defende que, não só que o Universo é infinito contendo infinitos Mundos, mas também que todos estes são habitados por seres inteligentes. Porém, foi necessário esperar pelo final do séc. XX para se assistir à primeira confirmação de tal existência. A dificuldade, que se subentende, concerne o facto de o brilho do planeta ser muitíssimo mais pequeno que o brilho da estrela. Tomemos o exemplo do Sistema Solar: Júpiter, por exemplo, é cerca de mil milhões de vezes menos brilhante que o Sol. Este facto, dificulta muito a deteção direta do planeta, ou seja, a captação da radiação eletromagnética oriunda deste independentemente da vinda da estrela. Por este facto, a larga maioria dos planetas extrassolares descobertos até à data, foram-no usando métodos indiretos que consiste na observação de alterações periódicas de características da estrela, como por exemplo, movimento ou brilho, por ação do planeta que a orbita.

Ao longo da última década foram feitos importantes progressos na sensibilidade dos detetores e o número de planetas extrassolares descobertos pelo método direto aumentou consideravelmente. Até à data foram descobertos, por este método, cerca de 140 planetas. Naturalmente que a quantidade de informação que nos chega desses mundos distantes ainda não é suficiente para descortinarmos com detalhe as suas propriedades estruturais. Nem o será tão cedo, se a observação for feita da Terra. Porém, existem já propostas para ultrapassar estas dificuldades usando o efeito de lente gravitacional provocado pelo Sol, para amplificar o sinal de um planeta extrassolar. “Bastaria” para isso colocar um pequeno telescópio (~1 m de diâmetro) a uma distância do Sol de aproximadamente 550 unidades astronómicas, numa posição diametralmente oposta à do sistema planetário em causa. Usando uma tecnologia de transporte denominada “vela solar” (onde a propulsão tem origem na pressão de radiação do Sol) o instrumento poderia ser colocado num local desejado num intervalo de tempo de pouco mais de uma dezena de anos (Turyshv et al., 2020). Por outro lado, já se fala em rede de comunicação interestelar (Hippke, 2020).

Nos últimos cinco anos, temos assistido a uma intensa produção científica na simulação e caracterização das atmosferas dos planetas extrassolares, com uma atenção muito especial a planetas que tenham uma massa semelhante à Terra e se encontrem a uma distância da estrela que permita as condições necessárias para a existência de água líquida na sua superfície: a zona de habitabilidade.

⁵ <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/press-physics2019.pdf>

⁶ The Extrasolar Planets Encyclopaedia - <http://exoplanet.eu/>

Dohm e Maruyama (2015) desenvolveram o conceito de “Habitable Trinity” que estabelece as condições ambientais mínimas e de interligação entre atmosfera, oceano e litosfera, para a evolução da vida. Eager et al. (2020) apresenta um conjunto de simulações do que será clima de *TRAPPIST-1* e *Proxima Centauri b*, dois planetas extrassolares pertencentes à respetiva zona de habitabilidade. Estas simulações envolvem um modelo de circulação atmosférica desenvolvido pelo *Met Office* (serviço de meteorologia inglês) e que há vários anos vem sendo usado para o estudo de planetas extrassolares. Oklopčić et al. (2020) apresentam um método para a determinação do campo magnético em planetas extrassolares (algo nunca observado de uma forma direta). Landais et al. (2019) desenvolveram um modelo de simulação topográfica para planetas rochosos – calibrado nos planetas do Sistema Solar – simulando diferentes cenários na proporção oceano/continente pelo impacto que tem na habitabilidade. Tal como é defendido no artigo “Even if exoplanets are too far to be resolved, their topographies should be studied now”.

Creemos que estes poucos exemplos são suficientes para ilustrar como o ensino superior das Ciências da Terra e das Ciências do Espaço ganhará com a interligação e conexão mútua que permita aos alunos adquirirem, se não as competências (na sua integralidade), a visão holística para os desafios que, seguramente, este século já está a apresentar às áreas em questão.

Considerações finais

As competências necessárias aos desafios do século XXI podem ser aprendidas por uma vivência real da interdisciplinaridade. Os exemplos acima enumerados mostram um terreno propício para esta aprendizagem.

Quem teve a oportunidade de conviver com a Colega Celeste Romualdo Gomes compreendeu rapidamente a sua visão sobre as vantagens para o ensino de uma abordagem interdisciplinar. E não era apenas opinião. Era uma prática assumida. Celeste Gomes multiplicava-se em diferentes áreas que incluíam o Paleomagnetismo, o ensino e a história das ciências. Mas também tinha uma genuína preocupação na promoção dessa visão interdisciplinar, algo que pode ser constatado numa variedade de iniciativas em que esteve na génese ou colaborou ativamente, tais como o Congresso dos Jovens Geocientistas, o Colóquio de História da Ciência para o Ensino e o Doutoramento em Ensino das Ciências. Estes eventos têm algo em comum: a preocupação com os alunos e a sua formação.

Por outro lado, não é de espantar que Celeste Gomes tenha abraçado com entusiasmo o desafio que foi, em 2014, a criação do Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC) que sucedeu ao, também seu, Centro de Geofísica da mesma universidade. O CITEUC é uma unidade de investigação financiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, com uma matriz interdisciplinar que inclui entre os seus membros diversas formações como Astronomia, Física, Geofísica, Geologia, Matemática, entre outros.

O CITEUC tem desenvolvido intensa atividade em alguns dos temas abordados neste artigo. São os casos da meteorologia espacial (Morozova et al., 2020), a geologia planetária (e.g. Rothery et al., 2020; Silvestro et al., 2016) e os pequenos corpos do Sistema Solar (Ferreira et al., 2020; Vilenius et al., 2018). No primeiro caso, podemos até referir que, ao longo dos últimos anos, Coimbra tem assumido uma posição de liderança tanto da vertente de investigação fundamental como na preocupação do impacto na meteorologia espacial nas atividades sociais e económicas. São exemplos os projetos “SWAIR - Space Weather and GNSS monitoring services for Air Navigation”⁷ e “MAG-GIC: Geomagnetically induced currents in Portugal mainland”⁸ (e.g. Pinheiro et al., 2020). Também no CITEUC, têm sido orientadas teses de mestrado e doutoramento frequentemente com um cariz interdisciplinar. Esta aspeto é particularmente importante na medida em que as unidades de investigação devem ser parceiras complementares do ensino formal para uma real experiência de integração de saberes por parte dos alunos. Funcionam como promotoras dessa abordagem (quando desafiam o espaço formal da “sala de aula” com as suas questões disruptivas) mas igualmente como beneficiárias dos resultados dessa integração (acolhendo os novos investigadores e a sua visão interdisciplinar), dando um forte contributo para uma plena capacitação para o século XXI.

Agradecimentos: João Fernandes recordará sempre os momentos de partilha que teve com a Colega Celeste Romualdo Gomes sobre os temas do ensino e da interdisciplinaridade e que foram a motivação para este texto. Agradece também as muitas conversas inspiradoras sobre as Ciências da Terra e do Espaço tidas no seio do CITEUC em particular com os membros da Direção, entre 2015 e 2018, a saber Teresa Barata, Ivo Alves, Fernando Carlos Lopes e Nuno Peixinho. Os autores agradecem a Isabel Correia (ESEC) pelos esclarecimentos relativos ao neologismo “amarciar”. O CITEUC é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (UID/Multi/00611/2020).

Referências bibliográficas

- Ananiadou, K., & Claro M. (2009). *21st Century skills and competences for new millennium learners in OECD countries*. OECD Education Working Papers, 41. Paris: OECD Publishing.
- Ashby, I., & Exter, M. (2019). Designing for interdisciplinarity in higher education: Considerations for instructional designers. *TechTrends*, 63, 202-208.
- Byrne, P. K., Heap, M. J., Mikhail, S., Foley, B. J., & Ghail, R. C. (2020). *The geology of exoplanets with thin, brittle lithospheres: lessons from Venus, Exoplanets in our Backyard 2020*. LPI Contribution No. 2195. Disponível em <https://www.hou.usra.edu/meetings/exoplanets2020/pdf/3077.pdf>.
- Dohm, J. M., & Maruyama, S. (2015), Habitable Trinity. *Geoscience Frontiers*, 6(1), 95-101.

⁷ <https://business.esa.int/projects/swair>

⁸ <https://www.uc.pt/en/org/maggic>

- Eager, J. K., Reichelt, D. J., Mayne, N. J., Lambert, F. H., Sergeev, D. E., Ridgway, R. J., ... Kohary, K. (2020), Implications of different stellar spectra for the climate of tidally locked Earth-like exoplanets. *Astronomy and Astrophysics* (in Press).
- Elvis, M. (2012). Let's mine asteroids - for Science and profit. *Nature*, 485, 549.
- Ferreira, L. M. G., Alves, E. I., Gonçalves, M., & Costa, B. F. O. (2020). North West Africa stony meteorite: a case study. *Hyperfine Interactions*, 241, id.19.
- Hedley, N., Lochhead, I., & Agesen, S. (2019). From generating live 3D oceans in virtual worlds, to hoverboarding on Mars: demonstrating the capability of mixed reality interfaces to support everyday Earth and Space Science Informatics. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2019*, abstract #IN21B-10.
- Hepburn, A. J., Holt, T., Hubbard, B., & Ng, F. (2019). Creating HiRISE digital elevation models for Mars using the open-source Ames Stereo Pipeline. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 8, 293.
- Hippke, M., (2020), Interstellar communication network. I. Overview and assumptions. *The Astronomical Journal*, 159, id.85.
- Hoerth, T., Schäfer, F., Hupfer, J., Millon, O., & Wickert, M. (2015). Momentum transfer in hypervelocity impact experiments on rock targets. *Procedia Engineering*, 103, 197-204.
- Landais, F., Schmidt, F., & Lovejoy, S. (2019). Topography of (exo)planets, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 484, 787-793.
- Marques, R. (2017). *Problemas sociais complexos e governação integrada*. Edição Govint. Disponível em https://issuu.com/ipav/docs/problemas_sociais_complexos_e_gover
- Mansilla, V. B. (2006). Interdisciplinary work at the frontier: An empirical examination of expert interdisciplinary epistemologies. *Issues in Integrative Studies*, 24, 1-31.
- Mayor, D., & Queloz, D. (1995). A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature*, 378, 355-359.
- Morozova, A. L., Ribeiro, P., Blanco, J. J., & Barlyaeva, T. V. (2020). Temperature and pressure variability in mid-latitude low atmosphere and stratosphere-ionosphere coupling. *Advances in Space Research*, 65, 2184-2202.
- Oklopčić, A., Silva, M., Montero-Camacho, P., & Hirata, C. M. (2020). Detecting magnetic fields in exoplanets with spectropolarimetry of the helium line at 1083 nm, *The Astrophysical Journal*, 890 (in Press).
- ORSIES - Observatório de Responsabilidade Social e Instituições de Ensino Superior (2018). *Livro Verde sobre Responsabilidade Social e Instituições de Ensino Superior*. Lisboa: SA Press Forum.
- Pinheiro, F., Ribeiro, J., Pais, M. A., Ribeiro, P., Morozova, A., Santos, F., ... Francisco, C. (2020). From geomagnetic observations at COI to GICs in the Portuguese power system network. In I. Abrantes, P. M. Callapez, G. P. Correia, E. Gomes, B. Lopes, F. C., Lopes, E. Pires, & A. Rola (Eds.). *Uma visão holística da Terra e do Espaço nas suas vertentes naturais e humanas. Homenagem à Professora Celeste Romualdo Gomes*. Coimbra: CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra.

- Power, E. J., & Handley, J. (2019). A best practice model for integrating interdisciplinarity into the higher education student experience. *Studies in Higher Education*, 44(3), 554-570.
- Roveda, H. A. (2009). Los principios fundamentales de la educación del siglo XXI. Conversaciones com Edgar Morin. *Signo y Pensamento* 56 – *Entrevista*, 29, 334-340.
- Rothery, D. A., Massironi, M., Alemanno, G., Barraud, O., Besse, S., Bott, N., ... Zambon, F. (2020). Rationale for BepiColombo studies of Mercury's surface and composition, *Space Science Reviews*, 216, id.66.
- Silvestro, S., Vaz, D. A., Yizhaq, H., & Esposito, F. (2016). Dune-like dynamic of Martian aeolian large ripples. *Geophysical Research Letters*, 43, 8384-8389.
- Sreeja, V. (2016). Impact and mitigation of space weather effects on GNSS receiver performance. *Geoscience Letters*, 3, id.24.
- Turyshchev, S. G., Klupar, P., Loeb, A., Manchester, Z., Parkin, K., Witten, E., & Worden, S. P. (2020). Exploration of the outer solar system with fast and small sailcraft. *A White Paper to the National Academy of Sciences Planetary Science and Astrobiology Decadal Survey* (pp. 2023-2032). Washington: National Academy of Sciences.
- Vallaes, F. (2017). Responsabilidade social universitária: uma definição prudente e responsável. *Colóquio, Revista do Desenvolvimento Regional*, 14(2), 159-173.
- Vilenius, E., Stansberry, J., Müller, T., Mueller, M., Kiss, C., Santos-Sanz, P., ... Delsanti, A. (2018). "TNOs are cool": A survey of the trans-Neptunian region. XIV. Size/albedo characterization of the Haumea family observed with Herschel and Spitzer. *Astronomy & Astrophysics*, 618, A136, 1-15.
- Voogt J., & Roblin N. (2012). A comparative analysis of international frameworks for 21st century competences: Implications for national curriculum policies. *Journal of Curriculum Studies*, 44(3), 299-321.
- Zivkovic S. (2016). A model of critical thinking as an important attribute for success in 21st century. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 232, 102-108.