

A natureza da ciência na educação em ciência: teorias e práticas

The nature of science in science education: theories and practices

La naturaleza de la ciencia en la educación en ciencia: teorías y prácticas

Ana Maria Morais*
Isabel Pestana Neves**
Sílvia Ferreira***
Leonor Saraiva****

Resumo: O artigo parte de resultados da investigação realizada pelo Grupo ESSA (Estudos Sociológicos da Sala de Aula) sobre a inclusão da natureza da ciência (metaciência) na educação científica. Os resultados, que se têm obtido da análise de vários textos e contextos educativos – currículos/programas, manuais escolares e práticas pedagógicas – e das relações entre esses textos/contextos, têm, em geral, revelado uma reduzida presença e uma baixa conceptualização da metaciência. No artigo, começa-se por apresentar o enquadramento teórico da investigação do Grupo ESSA sobre a inclusão da natureza da ciência na educação científica, fundamentalmente a teorização de Ziman (1984, 2000) sobre a metaciência e a teorização de Bernstein sobre a produção e reprodução do conhecimento, referindo-se particularmente o seu modelo do discurso pedagógico (1990, 2000) e as estruturas de conhecimento (1999). Segue-se a descrição de uma proposta de intervenção pedagógica, teoricamente sustentada, que explora a natureza da ciência em contexto de sala de aula. Pretende-se com essa proposta dar exemplo de uma estratégia que privilegie uma aprendizagem científica de nível elevado para *todos* os alunos e que possa constituir objeto de reflexão sobre a inclusão da natureza da ciência no ensino das ciências. O artigo termina com algumas considerações sobre a aplicabilidade da atividade proposta, retomando argumentos de natureza teórica e empírica que sustentam a sua utilização no contexto da educação científica.

Palavras-chave: Educação em ciência. Natureza da ciência. Discurso pedagógico. Estratégia para a sala de aula.

Abstract: The article is based on results of research carried out by the ESSA Group (Sociological Studies of the Classroom) centred on the inclusion of the nature of science (metascience) on science education. The results, based on analyses of various educational texts and contexts – curricula/syllabuses, textbooks and pedagogic practices – and of the relations between those texts/contextos, have in general shown a reduced presence and low conceptualization of metascience. The article starts by presenting the theoretical

* UIDEF, Instituto de Educação, Universidade de Lisboa. E-mail: <ammorais@ie.ulisboa.pt>.

** UIDEF, Instituto de Educação, Universidade de Lisboa. E-mail: <imneves@ie.ulisboa.pt>.

*** UIDEF, Instituto de Educação, Universidade de Lisboa. E-mail: <silviacferreira@gmail.com>.

**** Escola Superior de Educação, Instituto Politécnico de Setúbal e UIDEF, Instituto de Educação, Universidade de Lisboa. E-mail: <leonor.saraiva@ese.ips.pt>.

framework of the research of the ESSA Group which was focused on the introduction of the nature of science in science education. It is mostly based on Ziman's conceptualization of metascience (1984, 2000) and on Bernstein's theorization of production and reproduction of knowledge, particularly his model of pedagogic discourse (1990, 2000) and knowledge structures (1999). This is followed by the description of a pedagogical strategy, theoretically grounded, which explores the nature of science in the classroom context. The intention is to give an example of a strategy which privileges a high level learning for *all* students and which may contribute to a reflection about the inclusion of the nature of science on science education. Finally, considerations are made about the applicability of the strategy on the basis of previous theoretical and empirical arguments which sustain its use in the context of science education.

Keywords: Science education. Nature of science. Pedagogic discourse. Classroom strategy.

Resumen: El artículo parte de los resultados de la investigación realizada por el Grupo ESSA (Estudios Sociológicos de la Sala de clase) sobre la inclusión de la naturaleza de la ciencia (metaciencia) en la educación científica. Los resultados, que se han obtenido del análisis de varios textos y contextos educativos – currículos/programas, manuales escolares y prácticas pedagógicas – y de las relaciones entre esos textos/contextos, han, en general, revelado una reducida presencia y una baja conceptualización de la metaciencia. En el artículo se empieza por presentar el marco teórico de la investigación del Grupo ESSA sobre la inclusión de la naturaleza de la ciencia en la educación científica, fundamentalmente la teorización de Ziman (1984, 2000) sobre la metaciencia y la teorización de Bernstein sobre la producción y reproducción del conocimiento, refiriéndose particularmente a su modelo del discurso pedagógico (1990, 2000) y las estructuras de conocimiento (1999). La siguiente es la descripción de una propuesta de intervención pedagógica, teóricamente sostenida, que explora la naturaleza de la ciencia en el contexto del aula. Se pretende con esta propuesta dar ejemplo de una estrategia que privilegie un aprendizaje científico de alto nivel para todos los alumnos y que pueda ser objeto de reflexión sobre la inclusión de la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las ciencias. El artículo termina con algunas consideraciones sobre la aplicabilidad de la actividad propuesta, retomando argumentos de naturaleza teórica y empírica que sostienen su utilización en el contexto de la educación científica.

Palabras clave: Educación en ciencia. Naturaleza de la ciencia. Discurso pedagógico. Estrategia para el aula.

Introdução

São muitas as organizações internacionais (ex.: AAAS, 1989, 1993; NRC, 1996, 2012; OCDE, 2016) e muitos os investigadores (ex.: LEDERMAN, 2007; MATTHEWS, 2009; TABER, 2017) que têm defendido o ensino sobre a natureza da ciência como um dos objetivos da educação em ciência. Por exemplo, o quadro de referência apresentado pelo National Research Council (NRC, 2012) aponta para uma conceção de ciência integradora em termos dos conhecimentos e dos processos científicos relacionados com a natureza da ciência. Esta ideia tem mesmo sido alargada aos diferentes níveis de ensino, quando se dá particular ênfase à abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), como uma forma de contribuir para a compreensão da ciência pelos cidadãos. Neste sentido, Taber (2017) salienta que a natureza da ciência é essencial a uma educação científica que pretenda preparar cidadãos informados e mesmo futuros cientistas. Também o PISA (*Programme for International Student Assessment*) 2015 (OCDE, 2016) apresenta uma evolução na definição de literacia científica reforçando a componente relativa à natureza da ciência ao estabelecer que “a noção de ‘conhecimento sobre ciência’ foi mais claramente especificada e dividida em duas componentes – conhecimento procedimental e conhecimento epistémico” (p. 22). Tal como afirma Matthews (2009), “a ciência, ensinada meramente como um assunto técnico ou uma ‘retórica de conclusões’, não faz justiça quer à própria ciência quer à educação” (p. 663).

Este artigo parte de resultados da investigação realizada pelo Grupo ESSA (Estudos Sociológicos da Sala de Aula)¹ sobre a inclusão da natureza da ciência² (metaciência) no ensino das ciências e que tem incluído não só análises de vários textos e contextos educativos Portugueses – currículos/programas, manuais escolares e práticas pedagógicas – mas também análises das relações entre esses textos/contextos para apreciar os processos de recontextualização que podem ocorrer entre eles (ex.: ALVES; MORAIS, 2012; CALADO; NEVES, 2012; CASTRO, 2006, 2017; FERREIRA; MORAIS, 2013; FERREIRA, MORAIS, NEVES, SARAIVA; CASTRO, 2015; MORAIS, NEVES; FERREIRA, 2014; SARAIVA, 2016). Os resultados têm, em geral, revelado uma reduzida presença da metaciência, principalmente ao nível das práticas pedagógicas. Além disso, nos textos/contextos em que a natureza da ciência é referida, verifica-se que surge principalmente associada a capacidades relacionadas com os processos científicos e não tanto aos conhecimentos metacientíficos. Os resultados mostram também que a metaciência tende a ser explorada a um nível muito baixo de conceptualização e que nem sempre há articulação entre os conhecimentos metacientíficos e os conhecimentos científicos, nem há uma clara explicitação dos conceitos metacientíficos que se pretende que os alunos adquiram.

Estes resultados apontam para a necessidade de refletir sobre as mudanças a fazer, de modo a que a natureza da ciência possa estar presente no ensino das ciências e aos vários níveis do sistema educativo, de uma forma conceptualizada e não confinada às capacidades relacionadas com os processos científicos. A sua exploração em sala de aula constitui a base de uma proposta de intervenção pedagógica, teoricamente sustentada, que se apresenta neste artigo. Pretende-se que essa proposta se constitua como objeto de reflexão para uma intervenção que privilegie aprendizagens científicas de nível elevado para *todos* os alunos.

Um dos argumentos que surge, muitas vezes, para não se incluir atividades relacionadas com a natureza da ciência como uma estratégia a ser desenvolvida em sala de aula está relacionado com a escassez de tempo letivo. Considera-se, contudo, que esta limitação poderá ser minimizada se, no contexto de ensino/aprendizagem, se promover a relação dos conhecimentos científicos com os conhecimentos metacientíficos, relação essa que simultaneamente permitirá alcançar um maior nível de conceptualização. Com a proposta de intervenção pedagógica que se apresenta, sugere-se uma atividade a realizar em sala de aula que pode contribuir para obviar a alguns destes problemas.

No artigo, começa-se por apresentar o enquadramento teórico da investigação do Grupo ESSA, atrás referida, sobre a inclusão da natureza da ciência na educação científica. Foca-se a conceptualização sobre a natureza da ciência, com particular referência à teorização de Ziman (1984, 2000) sobre ciência. Inclui-se também a relação que pode existir entre produção e reprodução do conhecimento, referindo de forma genérica o modelo do discurso pedagógico de Bernstein (1990, 2000) e a teorização de Bernstein sobre as estruturas de conhecimento (BERNSTEIN, 1999). Segue-se a descrição da proposta de intervenção pedagógica, com a inclusão da atividade a ser realizada pelos alunos e das sugestões para o professor. O artigo termina com algumas considerações sobre a aplicabilidade da atividade proposta, retomando argumentos de natureza teórica e empírica que sustentam a sua utilização no contexto da educação científica.

¹ O Grupo ESSA – Estudos Sociológicos da Sala de Aula – é um grupo de investigação integrado na Unidade de Investigação, Desenvolvimento e Formação (UIDEF) do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa, <<http://essa.ie.ul.pt>>.

² A designação “natureza da ciência” (*nature of science*, NOS, no original em inglês) é usada de acordo com a tradição anglo-saxónica.

Enquadramento teórico

A natureza da ciência

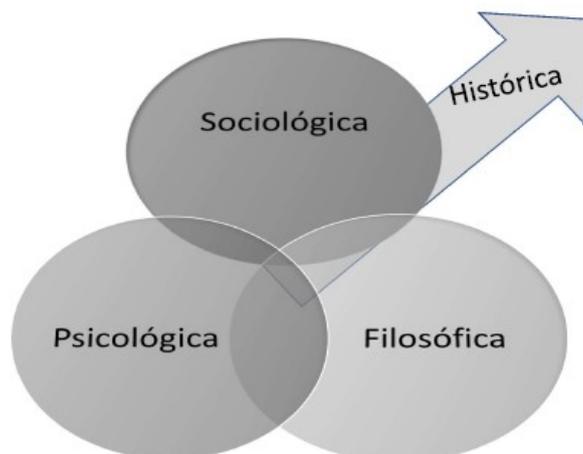
A inclusão da natureza da ciência no ensino das ciências, como uma forma de atingir a literacia científica para *todos*, implica responder a uma questão central: O que é a ciência? As respostas a esta questão são múltiplas e complexas conforme as perspetivas, ou seja, as disciplinas metacientíficas (filosofia, história, psicologia e sociologia) através das quais ela é analisada. E, se o conceito de ciência é polémico e multifacetado, também o modo como a ciência se constrói não tem uma única resposta. Por exemplo, Holton e Roller (1958) – ambos cientistas da área da Física – consideram que a ciência é um processo dinâmico de investigação e um corpo de conhecimento rigoroso. Para Popper (1959) – filósofo da ciência – o conhecimento científico pode ser encarado como um sistema de teorias em que a meta é chegar cada vez mais perto da verdade, à luz da discussão crítica. Kuhn (1991), numa perspetiva histórico-filosófica, defende que a especialização – responsável pelo crescimento linear e estável do conhecimento – é um produto exclusivo das comunidades científicas, as quais são marcadas por uma considerável homogeneidade da pesquisa. Assim considera que, embora os fatores externos possam influenciar o desenvolvimento da ciência, as comunidades científicas são relativamente independentes da esfera sociopolítica mais ampla. Nesta linha, alguns sociólogos da ciência estudam as relações que os cientistas estabelecem nos grupos em que trabalham e entre estes grupos e instituições sociais, para evidenciar a importância da comunicação científica durante o processo de desenvolvimento tecnológico. Neste sentido, Knorr-Cetina (1999) afirma que “os grupos que trabalham numa tecnologia têm igualmente de se por à prova a si mesmos e mostrar continuamente a sua capacidade ao público” (p. 392). Os filósofos, por sua vez, interrogam-se, há muito, sobre variados aspetos da construção do conhecimento científico, entre eles a objetividade da ciência, como Gil (1999) quando refere

Antes de tudo o mais, a ciência é obra de indivíduos colaborando com outros indivíduos. [...]. Se assim é, como se obtém e se garante a objetividade, ou seja, uma ciência que será a mesma para todos porque se impõe da mesma maneira a todos? A história das ciências torna patente que a objetividade não é dada mas conquistada [...], que ela nunca é total e constitui a resultante de um conjunto de fatores que não são todos interiores ao trabalho científico. (GIL, 1999, p. 11).

Face à dificuldade em obter uma ideia consensual sobre ciência e o modo como a ciência se constrói e dado o caráter controverso das teorizações sobre ciência e a sua sofisticação crescente, a investigação do Grupo ESSA tem sido fundamentalmente orientada pela conceptualização multidimensional de ciência de Ziman (1984, 2000). Esta conceptualização tem permitido uma análise articulada das várias disciplinas metacientíficas, ao contrário das posições de outros autores que focam mais uma ou outra vertente e não o conjunto das dimensões metacientíficas como é proposto no modelo de Ziman (Figura 1).

Ziman (1984, 2000) apresenta uma conceptualização multidimensional de ciência, considerando que a ciência deve ser analisada em função de quatro dimensões metacientíficas: filosófica, histórica, psicológica e sociológica, sem fronteiras nítidas a separá-las.

Figura 1 - Dimensões metacientíficas – Modelo de Ziman



Fonte: Saraiva (2016) adaptado de Ziman (1984, 2000).

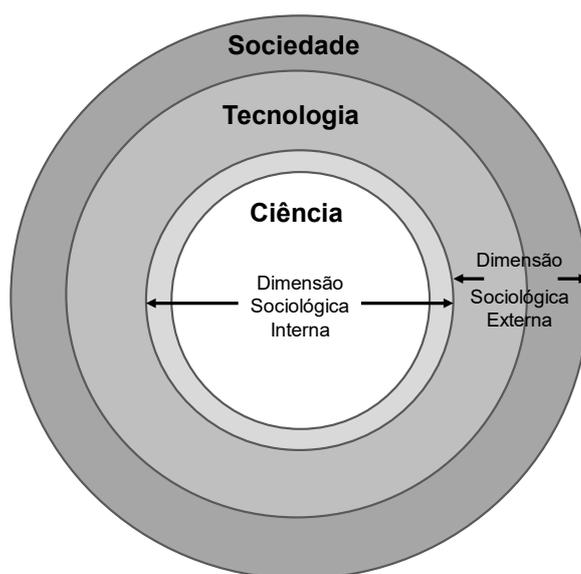
A dimensão filosófica caracteriza a ciência no seu aspecto dinâmico e dá ênfase aos processos investigativos de trabalho, usados pelos cientistas, como elementos de metodologias próprias (ex.: a observação, a experimentação, a teorização) destinadas a obter informação fidedigna acerca do mundo natural. A metodologia científica está direcionada para ultrapassar as duas maiores fontes de incerteza empírica: (a) a subjetividade, dado que o conhecimento científico é subjetivo porquanto a informação é obtida com a intervenção humana; e (b) a contingência, traduzida pela replicabilidade dos dados de interesse científico e dos procedimentos de investigação por parte de grupos independentes de cientistas.

A dimensão psicológica da ciência refere-se às características psicológicas dos cientistas que influenciam o seu trabalho. A ciência é uma atividade humana e, como tal, está sujeita aos condicionalismos da natureza humana – desejos, qualidades, ambições e fragilidades dos cientistas que influenciam o seu trabalho e que podem pôr em causa a ética profissional. Os traços de caráter há muito defendidos como apropriados a um cientista são: curiosidade, inteligência, persistência, honestidade e coragem para validar os seus resultados e submetê-los à crítica dos seus pares.

A dimensão histórica realça o caráter de arquivo da ciência e confere-lhe uma perspetiva de atividade dinâmica que progride ao longo do tempo. A acumulação de conhecimento científico, organizado em esquemas teóricos coerentes e divulgado em publicações, é um processo histórico com especial significado que permite a reestruturação de esquemas teóricos universais e a sua utilização em proveito da humanidade. Desde que a ciência se institucionalizou, podemos considerar as outras dimensões com diferentes perspetivas, condicionadas pelas realidades culturais e sociais das várias épocas históricas, num sentido de complexidade crescente. No modelo (Figura 1), a dimensão histórica é concebida por Ziman como um eixo temporal, ao longo do qual a ciência evolui pela inter-relação, em diversos momentos, dos aspetos filosóficos, psicológicos e sociológicos.

A dimensão sociológica (Figura 2) refere-se às relações entre os membros da comunidade científica (sociologia interna) e às inter-relações que estabelecem com a sociedade em geral (sociologia externa).

Figura 2 - A dimensão sociológica da ciência segundo Ziman



Fonte: Ferreira et al. (2015) adaptado de Ziman (1984, 2000).

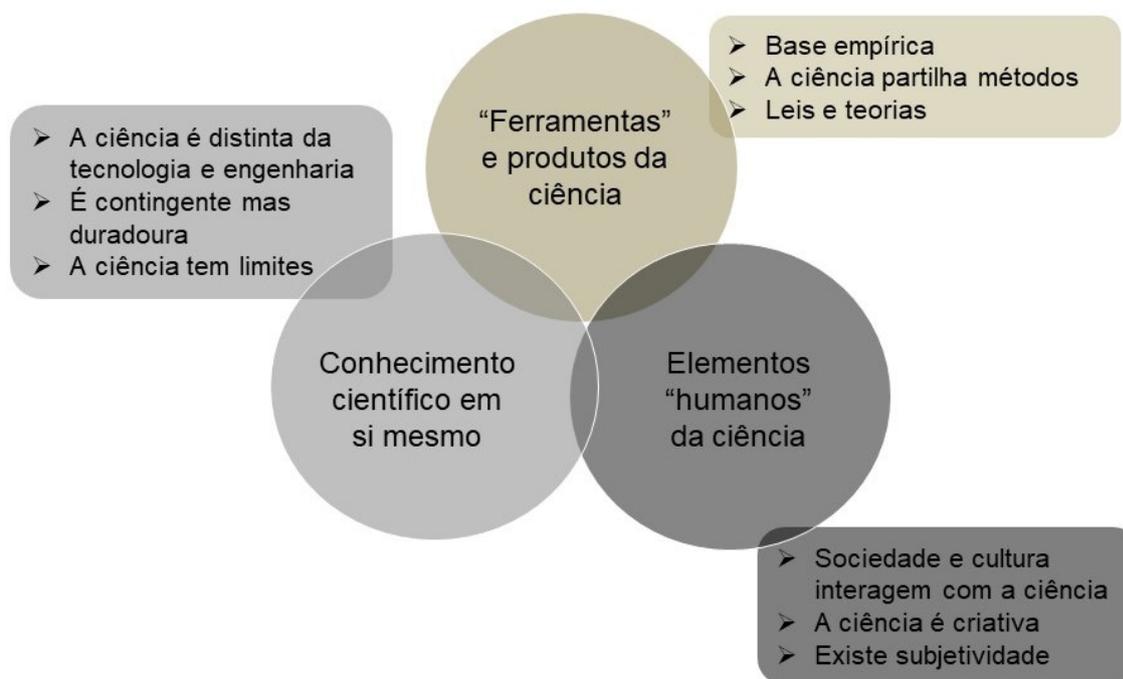
Ziman salienta que os cientistas estão integrados numa comunidade científica estabelecendo interações sociais uns com os outros. Os cientistas comunicam entre si partilhando perspetivas e resultados experimentais que os levam a reestruturar constantemente os seus trabalhos, a encontrar novas vias de investigação num empreendimento que é, cada vez mais, um processo colaborativo e não uma atividade isolada. Estas interações constituem a vertente interna da dimensão sociológica. No que se refere à vertente externa, Ziman encara a ciência como uma instituição social, inserida na sociedade e desempenhando funções específicas para a sociedade. Na sociedade atual, a ciência e a tecnologia estão intimamente ligadas. As novas ideias e aplicações da ciência influenciam as inovações e produções tecnológicas e a tecnologia fornece à ciência novos instrumentos e procedimentos de investigação que a fazem avançar. Os processos e produtos tecnológicos têm uma maior visibilidade e impacto na sociedade, pelo que a tecnologia pode ser vista como uma interface entre a ciência e a sociedade. Para este autor, a relação biunívoca entre Ciência/Tecnologia/Sociedade (CTS), corresponde apenas à dimensão sociológica na sua vertente externa.

A abordagem CTS proposta por outros autores (ex.: AIKENHEAD, 2000, 2009), ao compreender a interação externa entre ciência, tecnologia e sociedade, mas também o funcionamento interno do empreendimento científico e aspetos relacionados com a filosofia e a história da ciência, deixa pouco explícito o objeto de estudo de cada uma das disciplinas metacientíficas enunciadas por Ziman.

Mais recentemente, e com aspetos em comum com a conceptualização de Ziman, McComas (2014) apresenta alguns elementos básicos da natureza da ciência, organizados em três áreas inter-relacionadas (Figura 3): o “Conhecimento científico em si mesmo”, as “Ferramentas e produtos da ciência” e os “Elementos ‘humanos’ da ciência” (p. 2004). Em relação aos elementos do *conhecimento científico*, tal como Ziman, McComas também realça o caráter contingente da ciência mas, vai mais longe, quando refere os limites da ciência e considera a distinção que há entre ciência, tecnologia e engenharia. Esta perspetiva de McComas deve-se ao relevo atribuído à engenharia nas orientações do National Research Council (NRC, 2012) e à relevância que a

tecnologia e a engenharia assumem na sociedade atual (por ex.: a bioengenharia), sendo, provavelmente, as áreas que têm maior visibilidade pública.

Figura 3 - Representação de alguns elementos básicos da natureza da ciência, organizados em três áreas inter-relacionadas



Fonte: Adaptado de McComas (2014).

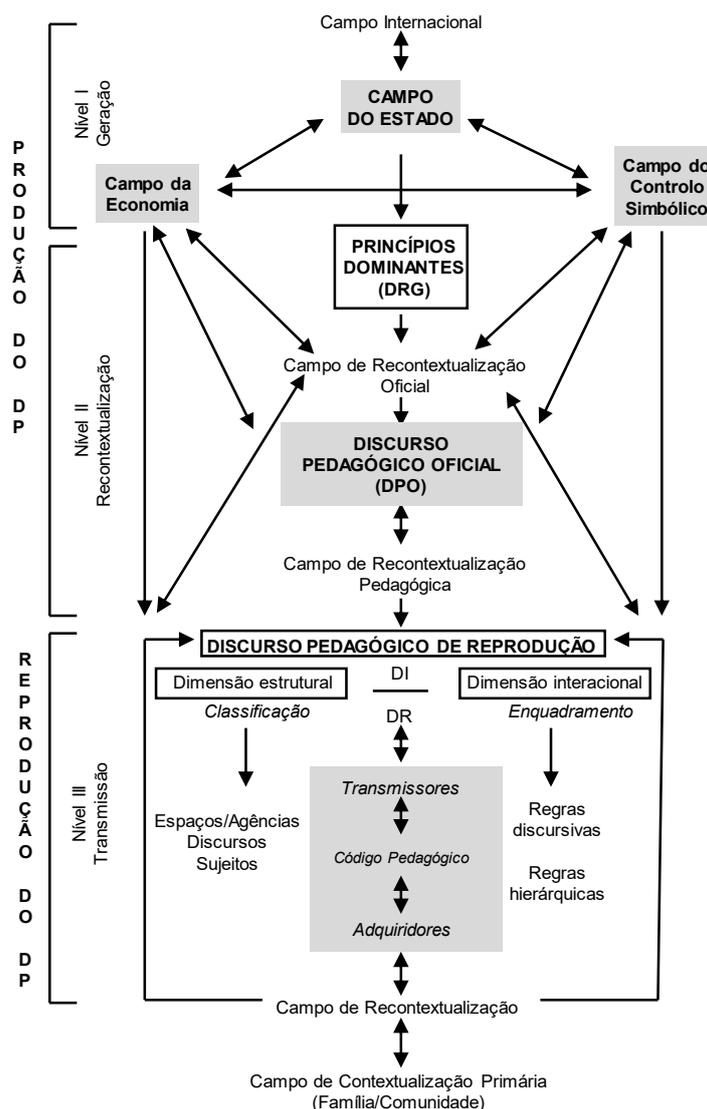
Os três elementos das “ferramentas” e produtos da ciência – base empírica, leis e teorias e métodos – são apontados por ambos os autores, mas Ziman integra-os principalmente na dimensão filosófica da ciência. McComas foca que a ciência partilha métodos, o que significa não existir um único “método científico”. Finalmente, em relação aos elementos “humanos” da ciência, a interação da sociedade e da cultura com a ciência e a sua perspectiva criativa são elementos também comuns à teorização de Ziman, em particular, no que diz respeito à dimensão sociológica na sua vertente externa e à dimensão psicológica, respetivamente.

Produção e reprodução do conhecimento

Os estudos realizados pelo Grupo ESSA, no âmbito da natureza da ciência, têm fundamentalmente subjacente à sua conceptualização, não só a perspectiva de Ziman (1984, 2000) sobre ciência, mas também a teorização de Bernstein sobre relação entre produção e reprodução do conhecimento (1990, 2000) e sobre as diferentes estruturas que caracterizam o conhecimento que é produzido e, posteriormente, reproduzido em textos e contextos educativos (1999).

O modelo do discurso pedagógico (Figura 4) pretende mostrar as múltiplas relações que se estabelecem entre a produção do conhecimento e a sua reprodução e, no âmbito da produção do conhecimento (onde se inclui a construção do conhecimento científico), permite compreender as relações que podem existir entre a ciência e os diversos campos da sociedade.

Figura 4 - Modelo do discurso pedagógico de Bernstein



Fonte: Bernstein (1990), adaptado por Morais e Neves (2007).

A parte superior do modelo representado na Figura 4 evidencia as relações entre os campos do controlo simbólico, da economia e do Estado. O campo de controlo simbólico é o campo onde se produz o conhecimento (ex.: universidades e centros de investigação). O campo da economia está ligado à produção de recursos materiais (ex.: empresas e indústria). O campo do Estado é o campo de onde emana o discurso regulador geral (DRG), que é constituído pelos princípios dominantes da sociedade e que está consignado na Constituição. A produção do conhecimento, feita no campo do controlo simbólico, pode envolver agentes ligados a vários campos, podendo o mesmo agente estar ligado a mais do que um campo. Estes agentes têm identidades próprias, ligadas ao campo a que pertencem; no entanto, podem ter ideologias mistas e diferentes posicionamentos devido à sua ligação a vários campos. Este é um aspeto que pode ser explorado no âmbito da dimensão sociológica externa definida por Ziman.

Quando se estuda a inclusão da natureza da ciência (conhecimento metacientífico) na aprendizagem científica, é importante ter em consideração a diferença de estrutura entre o

conhecimento científico e o conhecimento metacientífico produzidos no campo do controlo simbólico. De acordo com Bernstein (1999), pode dizer-se que o conhecimento metacientífico corresponde a um discurso com uma estrutura horizontal, caracterizada por uma série de linguagens paralelas, em que o seu desenvolvimento é alcançado através da construção de uma nova linguagem, com um novo conjunto de questões e de relações e fortemente classificada em relação a outras linguagens pré-existentes. Na conceptualização sobre a natureza da ciência (ver acima) está patente a existência dessas diferentes linguagens quando se evocam posições de diferentes autores à resposta “o que é a ciência?”. E, para cada uma das disciplinas metacientíficas (história, psicologia, filosofia, sociologia), também coexistem linguagens paralelas que dependem do posicionamento ideológico dos investigadores; por exemplo, no âmbito da filosofia, podem coexistir as correntes filosóficas do positivismo, realismo ou relativismo filosófico.

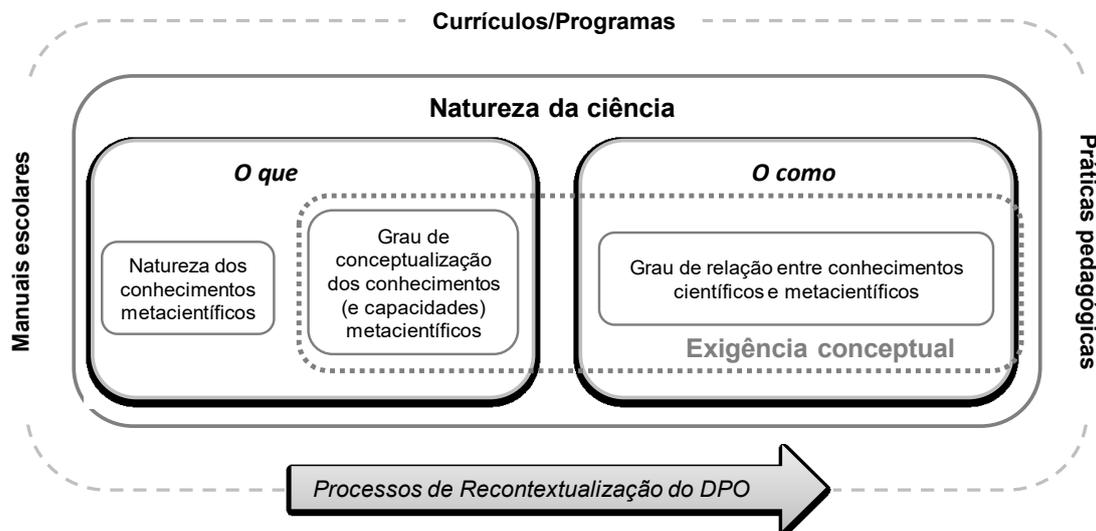
O conhecimento científico, segundo Bernstein (1999), possui uma estrutura hierárquica, na qual o desenvolvimento é alcançado através da seleção e integração de conceitos distintos de modo a alcançar-se um corpo comum de conhecimento com maior nível de abstração e poder de explicação. Assim, promover uma aprendizagem científica eficiente significa explorar não só conhecimento factual e nominal, mas também conhecimento conceptual (como, por exemplo, teorias e temas unificadores). Só desta forma se está a permitir que os alunos tenham acesso à estrutura hierárquica que caracteriza o conhecimento científico.

Apesar do conhecimento metacientífico ser caracterizado por uma estrutura horizontal, é importante que a sua aprendizagem não seja apenas de natureza factual ou nominal. Tomando como referência a teorização de Ziman, tal significa que, ao incluirmos no ensino/aprendizagem as diferentes dimensões metacientíficas, cada uma delas deverá ser explorada a diferentes níveis de complexidade, tendo em consideração o nível de escolaridade dos alunos e as aprendizagens já realizadas nesta área da educação científica.

A importância dada a uma aprendizagem científica conceptualizada tem estado presente na investigação desenvolvida pelo Grupo ESSA (ex.: ALVES; MORAIS, 2012; CALADO, NEVES; MORAIS, 2013; FERREIRA; MORAIS, 2014; SILVA, MORAIS; NEVES, 2013), tomando-se o conceito de *exigência conceptual* como um construto a ser aplicado à análise de textos e contextos educativos. Tal como expresso em Morais e Neves (2012), a exigência conceptual corresponde ao “nível de complexidade em educação científica traduzido pela complexidade do conhecimento científico [ou metacientífico] e das relações entre conhecimentos distintos de uma dada disciplina científica e também pela complexidade das capacidades cognitivas” (p. 68).

Na investigação centrada na natureza da ciência (ex.: CALADO; NEVES, 2012; CASTRO, 2006, 2017; FERREIRA; MORAIS, 2013; MORAIS, NEVES; FERREIRA, 2014), o discurso pedagógico presente a vários níveis do sistema educativo – currículos/programas, manuais escolares, práticas pedagógicas – tem sido, assim, analisado em função dos três parâmetros que definem o conceito de exigência conceptual: complexidade dos conhecimentos metacientíficos, complexidade das capacidades cognitivas associadas à metaciência e relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos. A Figura 5 apresenta, em síntese, o esquema dessa investigação.

Figura 5 - Dimensões de análise da investigação centrada na natureza da ciência, realizada pelo Grupo ESSA



Fonte: Adaptado de Castro (2017).

Como é ilustrado no esquema da Figura 5, além da análise do nível de exigência conceptual a que os conhecimentos metacientíficos são explorados, a investigação tem também integrado a análise da natureza desses conhecimentos, tendo por base a teorização de Ziman. Esta dimensão da análise conjuntamente com o grau de conceptualização dos conhecimentos e capacidades constituem *o que* do discurso pedagógico, dado que correspondem ao que é objeto de ensino/aprendizagem. O grau de relação entre os conhecimentos científicos e metacientíficos (relação intradisciplinar no contexto de uma disciplina científica) constitui um aspeto de *o como* do discurso pedagógico, dado que diz respeito à forma como se processa o ensino/aprendizagem. Como também é ilustrado no esquema, todos estes aspetos do ensino/aprendizagem sobre a natureza da ciência têm sido considerados quando se estudam os processos de recontextualização, do discurso pedagógico, que ocorrem entre os vários textos e contextos em estudo.

Retomando o modelo do discurso pedagógico de Bernstein (Figura 4), mas agora ao nível da reprodução do discurso, isto é, ao nível da prática pedagógica, pode dizer-se que a mensagem contida em currículos/programas (discurso pedagógico oficial) ou em manuais escolares (discurso pedagógico de reprodução) pode ser recontextualizada nessa prática. Esta possibilidade, contida no modelo, permite que os professores possam introduzir em aulas de ciências aspetos relacionados com a natureza da ciência mesmo quando esta está ausente ou pouco conceptualizada e explicitada naqueles documentos.

Ao apresentar-se uma proposta em que os conhecimentos metacientíficos são explorados de forma a contemplarem várias dimensões metacientíficas e a corresponderem a conceitos com diferentes níveis de complexidade, e em que é possível estabelecer-se relações entre os conhecimentos metacientíficos e científicos, pretende-se dar um contributo no sentido de minimizar algumas dificuldades que os professores possam ter na concretização desta vertente da educação científica.

Proposta de intervenção pedagógica

Nota introdutória

Na proposta³ que se apresenta, os conhecimentos metacientíficos são analisados e discutidos em termos das várias dimensões metacientíficas teorizadas por Ziman e são explorados de forma a corresponderem a conceitos com diferentes níveis de complexidade e a poderem ser articulados com conhecimentos científicos. A proposta centra-se no ensino secundário (10.º-12.º anos de escolaridade)⁴ e pode ser usada como uma atividade relacionada com o conceito de fotossíntese explorado aos níveis de organização biológica⁵ ‘organismo’ e ‘ecossistema’. Nesta proposta recorre-se a uma situação concreta de investigação científica, consistindo numa atividade muito contextualizada, segundo a terminologia de Clough (2017), o que possibilita aos alunos relacionarem as aprendizagens sobre a natureza da ciência com o trabalho que os cientistas realmente fazem. Para tal, utiliza-se um texto sobre as Pastagens Semeadas Biodiversas⁶ que resultou, essencialmente, de uma adaptação de uma entrevista realizada ao investigador Tiago Domingos do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa. Trata-se de um texto que refere conhecimento científico de grande atualidade no âmbito de uma área inovadora – a engenharia de biodiversidade – e que contém vários aspetos sobre a natureza da ciência relacionados com a construção desse conhecimento.

A atividade proposta tem como objetivo que os alunos, através de uma discussão em grupos, seguida de uma discussão geral, analisem previamente todo o texto e respondam às

³ A atividade que se inclui na proposta apresentada é uma adaptação de uma das atividades referidas em Ferreira et al. (2015).

⁴ Em Portugal, o ensino básico inicia-se aos seis anos de idade e inclui três níveis: o 1.º ciclo, com o primeiro ao quarto anos de escolaridade; o 2.º ciclo, com o quinto e sexto anos; e o 3.º ciclo, com o sétimo, oitavo e nono anos. Segue-se o ensino secundário, que é composto por três anos. O ensino básico e o ensino secundário em Portugal são equivalentes, respetivamente, ao ensino fundamental e ao ensino médio no Brasil.

⁵ A biologia pode ser estudada a vários níveis de organização biológica que, de acordo com o *Biological Sciences Curriculum Study* (BCSC, 2009), são os seguintes: molécula, célula, tecido, órgão, organismo, população, comunidade, ecossistema, biosfera.

⁶ As Pastagens Semeadas Biodiversas são um sistema de pastagens desenvolvido nos anos 70, em Portugal, pelo Engenheiro David Crespo. Diferem das pastagens convencionais por se fazer uso da diversidade e da complementaridade funcional de mais de 20 espécies de plantas para aumentar a produção vegetal (TEIXEIRA et al., 2015). A verdadeira dimensão destas pastagens, como inovação da Engenharia de Biodiversidade aplicada ao combate às alterações climáticas, só se traduz bem através do seu nome completo – *Pastagens Permanentes Semeadas Biodiversas Ricas em Leguminosas*. “Permanentes” porque, depois de semeadas são mantidas por um longo período de tempo (pelo menos 10 anos). “Semeadas” porque são introduzidas sementes melhoradas e selecionadas, com maiores produtividades que as sementes existentes naturalmente nos sistemas. “Biodiversas” porque são semeadas com misturas de grande número de sementes e variedades (até 20) o que induz uma maior adaptabilidade a variações climáticas anuais, proporcionando uma maior resistência a fatores ambientais e uma maior capacidade fotossintética. “Ricas em Leguminosas”, porque existe uma proporção significativa de leguminosas na mistura de sementes, que fixam azoto diretamente da atmosfera através de microrganismos do género *Rhizobium*, concentrados em nódulos nas raízes. A conjugação destas características leva a que as Pastagens Semeadas Biodiversas permitam aumentos de produtividade sustentados, providenciando mais alimento para os animais e também aumentos da matéria orgânica (MO) no solo associados à decomposição do sistema radicular. Solos ricos em MO são menos suscetíveis à erosão, têm maior capacidade de retenção de água, são mais ricos em nutrientes e, conseqüentemente, mais férteis. A maior capacidade fotossintética decorrente da biodiversidade tem igualmente um enorme impacto ambiental, dado permitir uma maior remoção de CO₂ da atmosfera. Entre 2009 e 2012 foram semeados 50000 novos hectares de Pastagens Semeadas Biodiversas, contribuindo com o sequestro de 1 milhão de toneladas de CO₂. Os 1000 agricultores que providenciaram este serviço ambiental foram remunerados, tornando este projeto a primeira demonstração, em larga escala, de como a sociedade pode compensá-los pelos benefícios ambientais gerados por uma boa prática agrícola. (Adaptado de TERRAPRIMA, 2013, <http://www.terraprima.pt/>).

questões a serem exploradas. Contudo, o professor pode optar por fazer apenas uma discussão geral sobre partes do texto que se vão apresentando aos alunos, de acordo com uma sequência bem definida. Em qualquer dos casos, o objetivo deve ser a exploração de conceitos parcelares sobre a natureza da ciência e, no final, como síntese, a explicitação de um conceito geral, que traduza uma ideia abrangente, interligada e complexa sobre ciência. Estas atividades de discussão são consideradas como “um meio útil para ajudar os alunos a desenvolverem uma melhor compreensão de como a ciência é feita e do que se pode aprender através da ciência” (BSCS, 2009, p. 78).

Na apresentação da proposta de intervenção pedagógica, dão-se exemplos de questões que poderão ser colocadas, aos alunos, com base no texto e sugestões para o professor. Nestas sugestões, e para cada questão, dá-se particular relevo: (a) ao tipo de resposta que os alunos poderão dar, indicando alguns excertos do texto necessários a essa resposta; (b) à explicitação dos conceitos metacientíficos que poderão ser explorados com cada questão; e (c) à identificação da(s) dimensão(ões) metacientífica(s) que pode(m) ser evidenciada(s). Neste sentido, tal como também defende Clough (2017), considera-se que é fundamental que o processo de ensino/aprendizagem da natureza da ciência seja deliberadamente planeado e implementado na sala de aula, assim como avaliado.

Atividade de discussão sobre a natureza da ciência

Atividade do aluno

O texto “Pastagens Semeadas Biodiversas” baseia-se numa entrevista a Tiago Domingos, Professor e investigador no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, onde é relatada uma história sobre a natureza da ciência na área da Engenharia de Biodiversidade.

Analisa o texto e, com base nele, discute as seguintes questões:

Questão 1

Discute em que medida se pode afirmar que não existe linearidade nos métodos de construção da ciência, nomeadamente na ciência aplicada.

Questão 2

Comenta a seguinte afirmação: Para o avanço da ciência, é fundamental o conjunto de ideias/investigações que vão surgindo, ao longo do tempo, em diferentes contextos sociopolíticos.

Questão 3

Analisa de que forma diferentes interesses, de natureza pessoal, podem condicionar a produção de conhecimento.

Questão 4

Apresenta argumentos que apoiem a importância, para a ciência e para os cientistas, da divulgação e partilha dos resultados da investigação em curso, quer à comunidade académica quer à sociedade.

Questão 5

Avalia em que medida a conjugação de ideias e interesses de pessoas ligadas a diversos campos da sociedade (económico, científico, político) pode contribuir para o sucesso da aplicação da ciência.

Pastagens semeadas biodiversas

1 “A história começa há 50-60 anos, na verdade começa há 2 ou 3 mil anos, com a agricultura do
mediterrâneo em que o homem destrói o ecossistema, através da destruição da agricultura e da mobilização dos
solos. Este facto leva à degradação da matéria orgânica e, portanto, o solo vai perdendo fertilidade e vai sendo
erodido o que, finalmente, leva ao progressivo avanço do deserto. E este problema [a cultura intensiva de
5 cereais] existia por todo o mediterrâneo e também em Portugal, em particular no Sul, no Alentejo.

Nos anos 60, começou a haver a ideia de que se podia gerir as pastagens de outra maneira. David Crespo, na
altura investigador no Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIA), teve uma bolsa para ir para a Austrália
onde as pastagens eram feitas com espécies do Mediterrâneo melhoradas pelos processos tradicionais, em
particular, usando o trevo-subterrâneo, que depois de produzir as sementes, enterra ele próprio essas sementes
10 na terra. Ao regressar a Portugal e entusiasmado com o que tinha aprendido, começou a semear o trevo-
subterrâneo e a fazer vários ensaios. Experimentava diferentes variedades, usava diferentes níveis de fertilizante
e ia observando os resultados. E um dia houve um engano e houve uma contaminação. Alguns talhões ficaram
com misturas e o que ele constatou, ao chegar ao final do ano, é que o talhão com a mistura tinha produzido
mais biomassa do que os talhões com uma única variedade de semente. E isto definiu o resto da sua vida de
15 investigação, passando a trabalhar nesta questão da biodiversidade. Nesta linha foi continuando a investigar,
semeando à medida que percebia melhor quais eram as misturas mais produtivas. E, nos anos 80, eu acho que
em muitos aspetos ele já tinha uma ideia bastante clara de como é que isto podia funcionar. Tanto assim que há
pastagens que ele semeou na sua herdade, nessa altura, que ainda hoje estão lá sem terem sido ressemeadas.

No fundo, ele sempre teve uma perspetiva mais de engenheiro, de resolver os problemas. Investigava, mas
estava mais interessado em encontrar soluções práticas. Estes trabalhos vieram publicados na Revista da
20 Sociedade Portuguesa de Pastagens e Forragens, mas ele nunca publicou em revistas científicas internacionais.
Quando foi para Roma, ligado à FAO [*Food and Agriculture Organization*], tinha a responsabilidade do apoio
técnico em pastagens a uma série de regiões no mundo e o seu nome passou a ser conhecido, em grande
medida, pelo trabalho que aí realizou. A internacionalização dele não veio, assim, através do que é mais habitual
25 para cientistas, que é publicar em revistas internacionais e ir a conferências, mas pelo facto de estar num
organismo mundial que define políticas e que faz assistência técnica.

No princípio dos anos 90, e com o apoio do filho, João Paulo Crespo decidiu criar uma empresa – a
Fertiprado – para fazer a comercialização das sementes biodiversas, vendendo diretamente aos agricultores. E
para o sucesso desta empresa foi fundamental a ligação entre David Crespo, o cientista-engenheiro que tinha o
30 conhecimento, e o filho, com o espírito comercial, de dinamismo empresarial. Entretanto, David Crespo deixa a
FAO, reforma-se do INIA e deixa de ser investigador para se dedicar apenas à empresa. A Fertiprado estava a
crescer e já havia agricultores a perceber que, de facto, valia a pena. Contudo, como acontece com as inovações
tecnológicas, após uma fase de crescimento, até 2004/2005, a curva logística, que começou exponencialmente,
começa a saturar. Por falta de formação técnica, capacidade de investimento, falta de visão de futuro, falta de
dinamismo e, ainda, por questões culturais, a maior parte dos agricultores não queria usar o sistema.

De forma a persuadir os agricultores relativamente a este sistema, montou-se então um consórcio com
apoios comunitários para demonstração agrícola em Portugal e que envolveu, entre outros, a Fertiprado, o
INIA e a Universidade de Évora. Foram desenvolvidos dois projetos em 2000, e em oito locais (um dos quais
na Quinta da França, uma quinta de família que comeci a gerir em 93/94) escolheu-se uma grande parcela de
40 terreno que se dividiu em duas partes. Numa dessas partes manteve-se um sistema tradicional das pastagens
naturais e na outra fez-se o sistema das pastagens biodiversas. O importante deste processo é que isto tinha de
ser feito com os agricultores e também ser suficientemente grande para ter o pastoreio, que é uma componente
fundamental. Fez-se assim, pela primeira vez, uma experiência controlada com o sistema completo. Claro que
isto não é tão controlado como uma experiência em laboratório, porque num terreno grande não se consegue
45 ter duas metades iguais, não se consegue ter pastoreio exatamente igual, etc. [Figura A].

Em 2002 o Instituto Superior Técnico [IST], sob minha responsabilidade, propôs uma candidatura ao
programa *Life*, de financiamento europeu na área de ambiente. Este projeto, o projeto *Extensivity*, partia de uma
rede de dez explorações agrícolas, incluindo a Quinta da França e a Herdade dos Esquerdos, gerida por David
Crespo, e pretendia criar uma rede maior. Tinha também um número muito grande de parceiros, incluindo a
50 Fertiprado, o INIA, dois organismos do Ministério da Agricultura, a CAP, a Liga para a Proteção da Natureza e
a DECO. Portanto, tinha um leque muito amplo daquilo que se chamam *stakeholders*, partes interessadas a nível
social, o que é muito importante para a aceitação de coisas novas. Um dos objetivos do projeto *Extensivity* –
Sistemas de Gestão Ambiental e de Sustentabilidade na Agricultura Extensiva – era analisar e promover práticas
sustentáveis na agricultura. Nesse âmbito, analisámos cuidadosamente as pastagens semeadas biodiversas do
55 ponto de vista económico e ambiental, tendo concluído pelas suas vantagens em ambas as vertentes.

Esta análise foi principalmente realizada por um aluno meu de doutoramento, na área do ambiente. Por um
lado, tratava-se de medir exatamente o efeito de melhoria de sequestro de carbono e, por outro lado, também,
de uma forma integrada, todos os efeitos económicos e ambientais do sistema. Neste processo, foi fundamental
haver a tal experiência controlada em oito locais. Estavam as pastagens naturais e estavam as semeadas

60 biodiversas, faziam-se análises de solos dos dois lados, via-se a evolução de matéria orgânica, fez-se o modelo e viu-se claramente o aumento de matéria orgânica, que era muito maior nas sementeiras biodiversas e, portanto, ficava mais carbono no solo do que nas outras. E, assim, havia o serviço de sequestro, pois estas pastagens capturam mais dióxido de carbono que as convencionais, evitando a acumulação de parte deste gás que contribui para o efeito de estufa e para o aquecimento global.

65 O modelo em que mostrávamos que aumentava a matéria orgânica no solo e o sequestro de carbono foi publicado em 2010 numa revista internacional, a *Ecological Modelling*. E o facto de termos publicado os resultados da comparação, em *peer reviewed*, foi fundamental para que houvesse validação de conhecimento e, portanto, o nosso sistema de sequestro de carbono fosse aceite internacionalmente. Veio uma comissão técnica das Nações Unidas que não levantou problemas relativamente aos nossos cálculos para as pastagens sementeiras biodiversas.

70 Em 2005-2011, é secretário de Estado do Ambiente o professor de biologia na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Humberto Rosa. Eu já o conhecia, pois Humberto Rosa, como professor da Faculdade, fez parte da comissão de aconselhamento da avaliação, da qual eu fui um dos coordenadores, dos serviços de ecossistema em Portugal no âmbito do *Millennium Ecosystem Assessment*. Em 2006, pedi para falar com ele e disse-lhe que o sistema que estávamos a usar era fantástico, bom para o ambiente e bom em termos económicos (uma solução *win-win*), que Portugal precisava de cumprir o Protocolo de Quioto e que este sistema ajudava em termos de sequestro de carbono, mas com imensos outros benefícios. Como político, que é cientista, percebeu imediatamente e deu todo o apoio que era necessário. Logo depois, no Dia Mundial do Ambiente, ele foi à Herdade dos Esquerdos visitar a Fertiprado, o que deu grande visibilidade pública.

80 Além disso, a visibilidade foi ainda mais evidente, quando em 2006 se estava a negociar as obrigações que as empresas portuguesas deviam ter em termos de Protocolo de Quioto. Sendo que o maior emissor de gases de efeito de estufa é o setor elétrico, a maior empresa do setor elétrico em Portugal, a EDP, tinha interesse em mostrar que havia outras formas de cumprir Quioto para além da redução das emissões do setor elétrico. Ao sabermos deste interesse da EDP, propusemos fazer um projeto de sequestro de carbono, na Quinta da França, combinando pastagens sementeiras biodiversas, sementeira direta e ainda uma coisa que sempre foi mais habitual falar-se em termos de sequestro de carbono, que era floresta. Foi Humberto Rosa, enquanto secretário de estado do ambiente, que apadrinhou este projeto. E houve cerimónia de lançamento, com a sua presença e a presença de jornalistas. Deu uma notícia de meia página no *Público* e tudo isto foi importante, em termos de visibilidade.

90 E foi muito importante a componente política, foi até um momento raro, em que o ambiente e a agricultura, como ministérios, trabalharam em conjunto. Foi uma conjugação de vontades, fruto em grande medida do projeto *Extensify*, que funcionou muito bem. Quando está tudo de acordo, do ponto de vista político tudo se torna mais viável.

95 O Fundo Português de Carbono abriu um concurso e a Terraprima – Serviços Ambientais, uma *spin-off* do IST, teve dois projetos financiados relacionados com as pastagens e ainda um terceiro relacionado com a forma como se faz o controlo dos matos, mas que também tem a ver com a questão da não mobilização do solo. No seu conjunto, estes projetos envolveram cerca de 1400 agricultores e 130 mil hectares e permitiram à Terraprima ganhar, em 2013, o concurso da Comissão Europeia "Um Mundo Que me Agrada com um Clima que me Agrada", para a "melhor solução para o clima".

100 Toda esta história remete-nos para a ciência ecológica e levanta algumas questões relacionadas com a evolução nos próprios procedimentos de investigação. Na área da biodiversidade, uma das questões centrais da ecologia, os primeiros modelos matemáticos que se fizeram para a interação entre espécies diziam que se diferentes espécies estivessem a usar o mesmo recurso, só a que fosse mais eficiente a usar esse recurso ganhava e as outras eram eliminadas (o que se chama exclusão competitiva). As equações matemáticas que nós temos para descrever isto dizem-nos que se eu tenho dez recursos diferentes, na melhor das hipóteses posso ter dez espécies diferentes, porque cada uma delas vai estar especializada num recurso. Mas a verdade é que tenho muitas mais. É o paradoxo do plâncton de que falava Hutchinson. Como isso está contra o paradigma vigente (entendido no sentido de Kuhn) passou a ser um puzzle, passou a ser um tema de investigação legítimo. Durante décadas foram-se descobrindo muitas explicações sobre porque razão é que mesmo que elas só tenham um recurso, pode haver muitas espécies diferentes e uma não exclui as outras.

105 No caso das pastagens, posso ter só um nutriente limitante e depois tenho produtores primários, plantas. Na ausência do herbívoro, a espécie mais competitiva acaba por dominar as outras todas. Acaba por ficar uma monocultura. Se eu tiver o herbívoro, ele equilibra e mantém-se todas. Isto é uma coisa que em ecologia se chama a hipótese do nível de perturbação intermédio. O herbívoro considera-se uma perturbação. Se eu não tiver herbívoro, eu não tenho perturbação e ganha uma das espécies. Se eu puser o herbívoro a pastorear muito, ganha a que tem mais resistência à herbivoria. Se eu fizer níveis intermédios de pastoreio, consigo mantê-las todas. Este é um dos segredos das pastagens sementeiras biodiversas.

As pastagens sementeiras biodiversas vivem da coexistência entre leguminosas e gramíneas. As leguminosas são importantes porque vão buscar azoto à atmosfera e as gramíneas são importantes porque usam esse azoto e

120 assim são mais ricas em energia. E, portanto, os animais precisam das duas. Adicionalmente, as gramíneas das
pastagens são como o trigo e a cevada, têm um porte ereto, enquanto as leguminosas, nomeadamente os trevos,
têm um porte prostrado. O que quer dizer que na ausência de pastoreio, ou com pastoreio insuficiente, as
gramíneas abafam as leguminosas. E, portanto, desaparecem as leguminosas, vai-se o azoto e perde-se o sistema
125 equilíbrio fino, é uma decisão de todas as semanas. Se as gramíneas já estão a dominar, tenho de pastorear.

Existem ainda muitos outros aspetos que nos interessa investigar. Por exemplo, uma das linhas de
investigação tem a ver com a pobreza em fósforo dos solos mediterrânicos, dos solos portugueses, sendo que o
fósforo é essencial para as leguminosas, nomeadamente porque ele é necessário para o *Rhizobium*. A maior parte
do adubo que nós pomos no solo não serve para nada porque fica adsorvido nas partículas do solo e não está
130 biodisponível. Não pode ser usado pelas plantas. Uma das coisas que nós estamos a começar – submetemos
agora candidaturas com uma professora da Faculdade de Ciências de Lisboa, a Cristina Cruz – é investigar
consociações entre fungos e bactérias que libertam fósforo.

Outra linha de investigação tem a ver com a otimização do pastoreio, onde surgem questões de transferência
de conhecimento. O David Crespo combina uma visão científica com muita experiência de campo. Tem o que
135 Polanyi chamou de conhecimento tácito. Ninguém como ele consegue gerir tão bem as pastagens. Neste
momento, a única solução é fazer experimentação e monitorização sistemática para se ser mais fino na escolha
de quantos animais meter e em que momento.

Aqui põe-se a questão de quem é que é produtor de conhecimento e quem é que é reprodutor de
conhecimento. O conhecimento estava com David Crespo, as pessoas que ele preparou não o produziram. E a
140 verdade é que ele teve uma experiência de vida e de investigação muito mais ampla que essas pessoas – teve
uma vida de cientista, fez experiências controladas, apesar de não as ter publicado em revistas internacionais. O
seu conhecimento está muito assente num conhecimento muito forte de História Natural, naturalista, de quem
andou sempre no terreno e andou sempre a observar. E a tendência seguida nos departamentos de biologia nas
últimas décadas, não é a do conhecimento naturalista. É a da especialização numa única espécie,
145 frequentemente focado em questões muito restritas. A sua posição epistemológica está em contracorrente, não
dá carreira, não dá artigos e, desta forma, fica fora do sistema. A postura de David Crespo, mais prática, fora do
sistema científico, de resolver os problemas dos agricultores, não gera *output* científico, não gera revistas ISI, não
gera carreiras científicas. E o que também aconteceu, e que é um problema grave, é que toda esta área das
pastagens foi sempre negligenciada no ensino superior na área agrária, em particular nas universidades.”

Adaptado de entrevista realizada a Tiago Domingos, a 22/01/2015



Figura A. Diferenças entre uma pastagem natural (à esquerda do caminho) e uma pastagem semeada biodiversa (à direita): a primeira começa a ser invadida por matos enquanto a segunda se mantém livre dos mesmos (Terraprima, 2013b, 30 de agosto).

Indicações para o professor

Questão 1

O seguinte excerto é ilustrativo de uma parte do texto que contém dados para a resposta a esta questão:

Foram desenvolvidos dois projetos em 2000, e em oito locais (um dos quais na Quinta da França, uma quinta de família que comeci a gerir em 93/94) escolheu-se uma grande parcela de terreno que se dividiu em duas partes. Numa dessas partes manteve-

se um sistema tradicional das pastagens naturais e na outra fez-se o sistema das pastagens biodiversas. O importante deste processo é que isto tinha de ser feito com os agricultores e também ser suficientemente grande para ter o pastoreio, que é uma componente fundamental. Fez-se assim, pela primeira vez, uma experiência controlada com o sistema completo. Claro que isto não é tão controlado como uma experiência em laboratório porque num terreno grande não se consegue ter duas metades iguais, não se consegue ter pastoreio exatamente igual, etc. (*linhas 38 a 45*).

Neste excerto é dado realce à questão do controlo experimental. Ao longo do texto vão sendo referidos outros procedimentos relacionados com a construção da ciência, como a questão do acaso na investigação, o uso de modelos, a importância dos paradigmas de investigação e a relevância do conhecimento tácito na construção da ciência (ver por exemplo, linhas 38-45; 58-62; 100-108; 130-137; 138-145). Deste modo, focam-se alguns dos aspetos considerados essenciais da natureza da ciência no ensino das ciências, tais como a natureza do método científico, os limites da ciência e a lógica e a criatividade em ciência (TABER, 2017).

Através da discussão destes vários aspetos da construção da ciência, mais diretamente relacionados com os processos investigativos, os alunos poderão chegar a um conceito metacientífico, associado à dimensão filosófica da construção da ciência, que poderá ser expresso da seguinte forma: *Na atividade científica, em particular na sua componente de ciência aplicada, não há uma linearidade de procedimentos, podendo essa atividade revestir-se de múltiplas formas, consoante a natureza das experiências a realizar, dos contextos em que elas se realizam e do tipo de conhecimento prévio envolvido.*

Questão 2

O seguinte excerto do texto contém dados que permitem responder a esta questão:

Nesta linha [David Crespo] foi continuando a investigar, semeando à medida que percebia melhor quais eram as misturas mais produtivas. E, nos anos 80, eu acho que em muitos aspetos ele já tinha uma ideia bastante clara de como é que isto podia funcionar. (*linhas 15 a 17*).

23

Neste excerto, bem como em outras partes do texto (por exemplo, linhas 6; 15-17; 36-39; 80-83; 109-110), é dado realce à evolução do conhecimento científico. É possível assim explorar a dimensão histórica da construção da ciência, considerando a evolução do conhecimento científico ao longo do tempo e em diferentes contextos. Na seguinte frase está explícito um conceito metacientífico a que os alunos poderão chegar a partir deste texto: *Para o avanço da ciência, é fundamental o conjunto de ideias/investigações que vão surgindo, ao longo do tempo, em diferentes contextos sociopolíticos.*

Questão 3

O seguinte excerto do texto contém dados que permitem responder a esta questão:

Nesse âmbito [do projeto *Extensivity*], analisámos cuidadosamente as pastagens semeadas biodiversas do ponto de vista económico e ambiental, tendo concluído pelas suas vantagens em ambas as vertentes. (*linhas 54 a 55*).

Este excerto evidencia o interesse do cientista em realizar o trabalho de forma cuidadosa, com vista a alcançar resultados económicos e ambientais. Através da discussão deste excerto e de outras partes do texto, mais diretamente relacionadas com questões inerentes às atitudes e preocupações dos cientistas (ver, por exemplo, linhas 19-20; 46-47; 54-55), os alunos poderão chegar a um conceito metacientífico sobre a dimensão psicológica da construção da ciência que pode ser explicitado da seguinte forma: *Num empreendimento científico em que o papel de cientista coexiste*

com o papel de empresário, o sucesso da descoberta passa não só pela motivação e espírito de iniciativa dos cientistas mas também pelo seu interesse económico nos resultados a alcançar.

Questão 4

Os alunos poderão encontrar resposta a esta questão em várias partes do texto, de que os dois excertos que se seguem são ilustrativos:

O modelo em que mostrávamos que aumentava a matéria orgânica no solo e o sequestro de carbono foi publicado em 2010 numa revista internacional, a *Ecological Modelling*. E o facto de termos publicado os resultados da comparação, em *peer reviewed*, foi fundamental para que houvesse validação de conhecimento e, portanto, o nosso sistema de sequestro de carbono fosse aceite internacionalmente. Veio uma comissão técnica das Nações Unidas que não levantou problemas relativamente aos nossos cálculos para as pastagens semeadas biodiversas. (linhas 65 a 70).

No seu conjunto, estes projetos envolveram cerca de 1400 agricultores e 130 mil hectares e permitiram à Terraprima ganhar, em 2013, o concurso da Comissão Europeia «Um Mundo Que me Agrada com um Clima que me Agrada», para a «melhor solução para o clima». (linhas 96 a 99).

O primeiro excerto mostra a importância da publicação e validação do conhecimento no seio da comunidade científica, estando sobretudo associado à dimensão sociológica interna. Tal como refere Taber (2017), “as sociedades científicas, os jornais, os conselhos de financiamento da investigação e as conferências formais são instituições fundamentais de apoio ao debate científico” (p. 34). O segundo excerto mostra o reconhecimento da sociedade, ao nível da Comissão Europeia, salientando, assim, a dimensão sociológica externa da construção da ciência.

Através da discussão destes dois excertos, e de várias partes do texto diretamente relacionadas com o trabalho no seio da comunidade científica e com as relações que se estabelecem entre essa comunidade e a sociedade (ver, por exemplo, linhas 20-24; 65-70; 96-99), os alunos poderão chegar a conceitos metacientíficos associados à dimensão sociológica (interna e externa) da construção da ciência. Um dos conceitos poderá ser o seguinte: *A partilha de conhecimentos e de relatos de experiências/ensaios através de publicações, em particular de prestígio científico, contribui para o progresso da ciência e para o reconhecimento/ aceitação dos cientistas na comunidade académica e na sociedade.*

Questão 5

Os seguintes excertos poderão servir para apoiar a resposta a esta questão:

Em 2005-2011, é secretário de estado do ambiente o professor de biologia na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Humberto Rosa. Eu já o conhecia, pois Humberto Rosa, como professor da Faculdade, fez parte da comissão de aconselhamento da avaliação, da qual eu fui um dos coordenadores, dos serviços de ecossistema em Portugal no âmbito do *Millennium Ecosystem Assessment*. Em 2006, pedi para falar com ele e disse-lhe que o sistema que estávamos a usar era fantástico, bom para o ambiente e bom em termos económicos (uma solução *win-win*), que Portugal precisava de cumprir o Protocolo de Quioto e que este sistema ajudava em termos de sequestro de carbono, mas com imensos outros benefícios. Como político, que é cientista, percebeu imediatamente e deu todo o apoio que era necessário. Logo depois, no Dia Mundial do Ambiente, ele foi à Herdade dos Esquerdos visitar a Fertiprado, o que deu grande visibilidade pública. (linhas 71 a 79).

Uma das coisas que nós estamos a começar – submetemos agora candidaturas com uma professora da Faculdade de Ciências de Lisboa, a Cristina Cruz – é investigar consociações entre fungos e bactérias que libertam fósforo. (linhas 130 a 132).

O primeiro excerto evidencia uma conjugação de interesses, nomeadamente o interesse político e o interesse científico, o que está mais associado à dimensão sociológica externa. O segundo excerto mostra a investigação a avançar com a colaboração de outros cientistas, salientando, assim, a dimensão sociológica interna da construção da ciência. Outras partes do texto (ver, por exemplo, linhas 22-26; 36-38; 47-52; 68-70; 71-79; 80-89; 90-93; 94-96; 130-132) poderão complementar as ideias anteriores, permitindo explorar um conceito metacientífico que, tal como a questão precedente, contempla as duas vertentes da dimensão sociológica (interna e externa). O conceito a que os alunos poderão chegar com esta nova questão possui contudo um maior nível de conceptualização, podendo ser explicitado da seguinte forma: *Para garantirem que uma descoberta é aplicada, os cientistas precisam de ter uma ligação ao mundo empresarial e político, através de diálogo entre agentes de diferentes campos da sociedade, nomeadamente entre agentes que pertencem simultaneamente a vários campos, e através de um trabalho em rede alargado a outros cientistas, agentes sociais, empresários e representantes do Estado.*

Com base nos cinco conceitos metacientíficos parcelares, menos complexos, que foram previamente apresentados, é possível, e desejável, chegar ainda a um conceito metacientífico mais abrangente, e mais complexo, que envolve várias dimensões da construção da ciência, como o que se segue: *A ciência é um empreendimento que se desenvolve ao longo do tempo e que envolve procedimentos diversos e complementares de investigação e aplicação de conhecimentos de áreas/cientistas distintos, a conjugação concertada de interesses de natureza pessoal, social, económica e política e, ainda, o reconhecimento académico e social dos intervenientes e dos resultados.*

Considerações finais

A investigação realizada pelo Grupo ESSA, no âmbito da natureza da ciência (metaciência), tem incluído estudos aos vários níveis do sistema educativo – currículos e programas (ex.: CASTRO, 2006, 2017; FERREIRA; MORAIS, 2013), manuais escolares (ex.: CALADO; NEVES, 2012; CASTRO, 2017) e práticas pedagógicas (ex.: ALVES; MORAIS, 2012) – e em contextos de formação de professores (ex.: SARAIVA, 2016). Estes estudos têm, em geral, revelado uma reduzida presença da metaciência e, quando está presente, os resultados revelam que os conhecimentos metacientíficos são pouco conceptualizados e têm uma reduzida ou inexistente articulação com os conhecimentos científicos e mostram ainda que, em geral, não existe uma clara explicitação dos conceitos metacientíficos que se pretende que os alunos adquiram. Em face destes resultados, e tendo em consideração argumentos de natureza epistemológica, psicológica e sociológica, como os que se apresentam neste artigo, torna-se crucial e urgente alterar esta situação, repensando currículos e alterando práticas pedagógicas. A inclusão, no presente artigo, de uma proposta de atividade que contém aspetos relacionados com a natureza da ciência no contexto da prática pedagógica, em educação científica, constitui um passo nesse sentido.

Um dos principais objetivos que se pretendeu alcançar com esta proposta de intervenção é o de tornar evidente que, tal como para os conhecimentos científicos, é possível haver conceitos complexos, além de conceitos simples, ligados aos conhecimentos metacientíficos. Este é um aspeto crucial da educação científica se se pretender que traduza um ensino conceptualmente exigente. Na proposta apresentada, os conceitos metacientíficos mais complexos são antecidos de conceitos menos complexos.

Alguns autores, como por exemplo Bruner (1963) e Geake (2009), apresentam fundamentos de natureza psicológica que sustentam a importância que deve ser dada à exigência conceptual ao nível dos conhecimentos. De acordo com Bruner, a exigência conceptual pode ser corporizada na sua ideia de currículo em espiral, em que a progressão do conhecimento é feita no

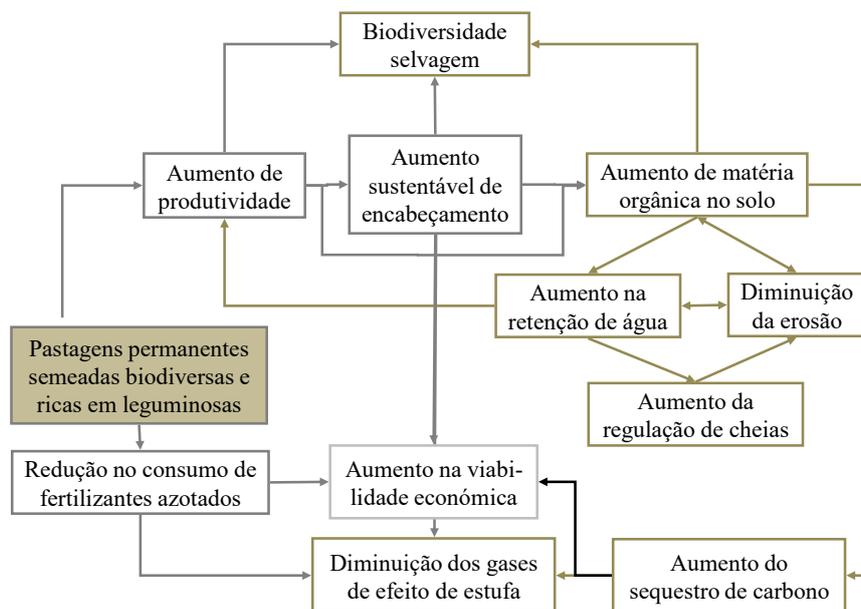
sentido de uma crescente conceptualização e abrangência. Geake ilustra a importância do currículo em espiral quando afirma que este, ao apresentar conceitos semelhantes em contextos novos e crescentemente mais complexos, oferece mais oportunidades para a repetição necessária a uma aprendizagem efetiva e eficaz. A sustentar um ensino conceptualmente exigente há também fundamentos de natureza sociológica relacionados com a questão de “quem deve ter acesso ao conhecimento científico?”. Subjacente a esta questão, está uma posição de cariz ideológico que nos remete para o *princípio da igualdade social* em termos de acesso de todos os alunos a um conhecimento científico que vá para além do conhecimento terminológico e factual. Com base na teoria de Bernstein (1990, 2000), e de acordo com Morais (DOMINGOS, 1989), o sucesso escolar numa sociedade democrática pressupõe o acesso de todos os alunos ao conhecimento legitimado pela comunidade científica e pela sociedade, permitindo-lhes assim aceder ao discurso do poder e ao poder do discurso.

Porém, para além da sua conceptualização, é fundamental que os conhecimentos metacientíficos sejam tornados explícitos durante a sua exploração. Para tal, é essencial que o processo de ensino/aprendizagem da natureza da ciência seja intencionalmente planeado pelo professor (CLOUGH, 2017). Não basta, como muitas vezes acontece, que a inclusão da natureza da ciência no ensino das ciências seja feita principalmente como estratégia de motivação. Importa, também, que ela seja tratada como um conhecimento útil a ser apreendido pelos alunos, como componente fundamental da literacia científica. Daí a necessidade de tornar explícitos os conceitos a adquirir. Se, no caso dos conhecimentos científicos, a falta de uma explicitação clara já é problemática, então no caso dos conhecimentos metacientíficos ela ainda o é mais, em parte, pela reduzida, ou muitas vezes ausente, formação dos professores de ciências nesta área. Nas indicações para o professor, incluídas na proposta apresentada, os conceitos passíveis de serem explorados estão referidos de forma explícita.

Além disso, os conhecimentos metacientíficos que se pretende que os alunos adquiram através desta proposta, ou em outras atividades que permitam a exploração da metaciência, devem ser articulados com conhecimentos científicos a que os alunos tiveram acesso com base em outras atividades realizadas⁷. Esta é uma dimensão igualmente importante do ensino/aprendizagem dado que promove a intradisciplinaridade, ao esbater fronteiras entre os conhecimentos científicos e metacientíficos. Tendo em atenção que, em contextos de aprendizagem científica, é o conhecimento científico que deverá ter o estatuto mais elevado nessa relação, a intradisciplinaridade é importante porque poderá também contribuir para elevar o nível de exigência conceptual da aprendizagem dos conhecimentos científicos. No caso desta proposta, os conhecimentos metacientíficos estão associados a conhecimentos científicos relacionados com o ‘aumento de matéria orgânica no solo’ e o ‘aumento do sequestro do carbono’. O esquema da Figura 6 contém exemplos de vários conhecimentos científicos relativos aos benefícios ambientais das pastagens semeadas biodiversas. Com as devidas adaptações, o texto “Pastagens Semeadas Biodiversas” também pode ser utilizado no processo de ensino/aprendizagem de conhecimentos científicos e metacientíficos que são abordados em outros anos de escolaridade, por exemplo ao nível do 3.º ciclo do ensino básico. Neste caso, o nível de conceptualização do conhecimento metacientífico será necessariamente menor.

⁷ Para a construção de atividades que envolvam a inclusão da natureza da ciência relacionada com diferentes conhecimentos científicos, para diferentes níveis de escolaridade, podem ser consultados diversos textos com relatos de cientistas e de descobertas científicas (ex.: FLEMING, 1945; SKLOOT, 2011; WATSON, 1987; WEINER, 2006; WILSON, 2014; XAVIER, 2014). Podem também ser consultados artigos com exemplos de estratégias usadas para explorar a natureza da ciência no ensino das ciências (ex.: FERREIRA, 2007; FORTE et al., 2000; LOBO et al., 2001; PAIXÃO et al., 2004). Estes exemplos foram concebidos por alunos em Didática das Ciências na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, usando como base textos extraídos de livros ou de notícias.

Figura 6 - Conhecimentos científicos relacionados com os benefícios ambientais das pastagens semeadas biodiversas



Fonte: Domingos (2012).

Tendo presente o modelo do discurso pedagógico de Bernstein (1990, 2000), a proposta apresentada pode também servir como exemplo para ilustrar a complexidade da rede de relações que caracterizam a natureza da ciência, ao nível do campo de controlo simbólico, e para mostrar que o sucesso desta rede de relações no empreendimento científico depende em grande medida das identidades e ideologias dominantes. No texto “Pastagens Semeadas Biodiversas”, que serviu de base à atividade de discussão proposta, é possível verificar a intervenção dos três campos. Alguns dos agentes que estão envolvidos no episódio relativo à construção do conhecimento científico, no âmbito da engenharia de biodiversidade, estão ligados a vários campos. Por exemplo, Tiago Domingos apresenta uma identidade constituída no campo de controlo simbólico, como investigador e professor no Instituto Superior Técnico, mas tem também ligações ao campo da economia, enquanto gestor de uma empresa agrícola. Estes aspetos conferem-lhe um determinado posicionamento no campo da economia, mas cuja ideologia é fundamentalmente determinada pela sua identidade como investigador, uma vez que o seu interesse primário é o avanço do conhecimento. Outro exemplo é o de David Crespo. Também ele apresenta uma identidade constituída no campo do controlo simbólico, como investigador do Instituto Nacional de Investigação Agrária, mas tem uma forte ligação ao campo da economia, como empresário. Essa ligação confere-lhe um posicionamento e uma ideologia que, posteriormente, passam a ser mais determinados pelo campo da economia. No caso de Humberto Rosa, a sua identidade está ligada ao campo de controlo simbólico, como investigador da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; porém, no período em que foi Secretário de Estado, o seu posicionamento e ideologia são também influenciados pelo campo do Estado. Uma possível análise destas relações com os alunos poderá contribuir para ilustrar de uma forma muito concreta e clara a complexidade de relações que existem entre ciência e sociedade, ajudando a destruir muitos dos mitos que por vezes persistem relativamente à natureza da ciência.

Em termos de aplicabilidade em sala de aula, é de salientar que o ensino sobre a natureza da ciência exige dos professores uma grande capacidade de articulação entre dois tipos de conhecimentos, porque implica um posicionamento duplo dos professores de ciências. Ao nível

de *o que* ensinar, os professores têm de lidar, desejavelmente em harmonia, com um *que* com uma estrutura hierárquica (ciência) e com um outro *que* caracterizado por uma estrutura horizontal (metaciência). Ao contrário do ensino das disciplinas científicas, onde *o que* científico tem uma estrutura hierárquica, *o que* metacientífico é caracterizado por uma estrutura horizontal, isto é, com linguagens paralelas. Dito de outro modo, a estrutura horizontal do conhecimento metacientífico, sendo diferente da estrutura hierárquica do conhecimento científico, poderá levantar dificuldades de operacionalização aos professores de ciências, socializados em estruturas hierárquicas (disciplinas científicas) do conhecimento durante a sua formação acadêmica.

É importante ter presente que, na proposta apresentada, a opção pela teorização de Ziman (1984, 2000) sobre ciência e pela teoria de Bernstein (1990, 1999) sobre a relação entre produção e reprodução do conhecimento, integrada no seu modelo do discurso pedagógico, e sobre as estruturas que caracterizam diferentes formas de conhecimento, refletem simultaneamente uma posição *ideológica* e uma posição *conceptual* seguida na investigação realizada pelo Grupo ESSA. *Ideológica* porque, sendo o conhecimento metacientífico e o conhecimento pedagógico formas de conhecimento de estrutura horizontal, a investigação realizada pelo Grupo ESSA sobre a inclusão da natureza da ciência na educação científica reflete o posicionamento das investigadoras deste grupo, com o seu próprio conjunto de questões e de relações, que é completamente distinto do posicionamento de investigadores, seguidores de outras correntes epistemológicas e sociológicas. *Conceptual* porque, de acordo com a posição deste grupo, a linguagem interna de descrição sobre ciência proposta por Ziman traduz uma conceptualização mais abrangente e facilitadora da categorização dos vários aspetos da natureza da ciência (dimensões metacientíficas) do que outras linguagens de descrição sobre ciência. Por outro lado, dada a sua forte estrutura conceptual, a linguagem interna de descrição contida na teoria de Bernstein permite análises rigorosas e aprofundadas de textos e contextos educativos e das suas relações, o que não acontece com outras linguagens de descrição sobre o discurso pedagógico.

Referências

AAAS (American Association for the Advancement of Science). **Project 2061: science for all Americans**. Washington, DC: AAAS, 1989.

AAAS (American Association for the Advancement of Science). **Benchmarks for science literacy**. Nova Iorque: Oxford University Press, 1993.

AIKENHEAD, G.S. Renegotiating the culture of school science. In: MILLAR, R.; LEACH, J.; OSBORNE, J. (Eds.) **Improving science education: the contribution of research**. Birmingham, UK: Open University Press, 2000. p. 245-264.

AIKENHEAD, G.S. Os aspetos humanísticos e culturais do ensino da ciência & tecnologia. In: AIKENHEAD, G.S. **Educação Científica para todos**. Ramada: Edições Pedagogo, 2009. p. 49-83.

ALVES, V.; MORAIS, A. M. A sociological analysis of science curriculum and pedagogic practices. **Pedagogies: An International Journal**, v. 7, n. 1, p. 52-71, 2012. DOI: 10.1080/1554480x.2012.630511

BERNSTEIN, B. **Class, codes and control: the structuring of pedagogic discourse**. Londres: Routledge, v.4, 1990.

BERNSTEIN, B. Vertical and horizontal discourse: an essay. **British Journal of Sociology of Education**, v. 20, n. 2, p. 157-173, 1999. DOI: 10.1080/01425699995380

BERNSTEIN, B. **Pedagogy, symbolic control and identity**: theory, research, critique. Revised edition. Nova Iorque: Rowman & Littlefield, 2000.

BRUNER, J. **The process of education**. Nova Iorque: Vintage Books, 1963.

BSCS (Biological Sciences Curriculum Studies). **The Biology teacher's handbook**. 4. ed. Arlington: NSTA Press, 2009.

CALADO, S.; NEVES, I. P. Currículo e manuais escolares em contexto de flexibilidade curricular: estudo de processos de recontextualização. **Revista Portuguesa de Educação**, Braga, v. 25, n. 1, p. 53-93, 2012.

CALADO, S.; NEVES, I. P.; MORAIS, A. M. Conceptual demand of science curricula: study at the middle school level. **Pedagogies: An International Journal**, v. 8, n. 3, p. 255-277, 2013. DOI: 10.1080/1554480x.2013.795698

CASTRO, S. **A construção da ciência na educação científica do ensino secundário**: análise do programa de Biologia e Geologia do 10.º ano. Tese (Mestrado) - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2006.

CASTRO, S. **A construção da ciência na educação científica do ensino secundário**: estudo do discurso pedagógico do programa e de manuais escolares de Biologia e Geologia do 10º ano e das conceptions dos professores. Tese (Doutorado), Instituto de Educação da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017.

CLOUGH, M. P. History and nature of science in science education. In: TABER, K. S.; AKPAN, B. (Eds.) **Science Education**: an international course companion. The Netherlands: Sense Publishers. 2017. p. 39-51.

DOMINGOS, A. M. (atualmente Morais). Conceptual demand of science courses and social class. In: ADEY, P. (Ed.). **Adolescent development and school science**. Londres: Falmer Press. 1989. p. 211-223.

DOMINGOS, T. **Sequestro de carbono no solo em pastagens sob-coberto florestal**: projectos Terraprima – Fundo Português de Carbono. Disponível em: <<http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ei/unccd-PT/pancd/resource/doc/seef/2012fev29/projetos/120229-carbono-em-pastagens-matos-tiagodomingos>> Acesso em: 3 fev. 2015.

FERREIRA, S. Uma visão integrada e global da Ciência no currículo de ciências: estratégias de discussão sobre um problema ambiental. **Revista de Educação**, Lisboa, v. 15, n. 2, p. 97-124, 2007.

FERREIRA, S.; MORAIS, A. M. The nature of science in science curricula: methods and concepts of analysis. **International Journal of Science Education**, Taipei City, v. 35, n. 16, p. 2670-2691, 2013. DOI: 10.1080/09500693.2011.621982

FERREIRA, S.; MORAIS, A. M. Conceptual demand of practical work in science curricula: a methodological approach. **Research in Science Education**, v. 44, n. 1, p. 53-80, 2014. DOI: 10.1007/s11165-013-9377-7

FERREIRA, S.; MORAIS, A. M.; NEVES, I. P.; SARAIVA, L.; CASTRO, S. Conceptualização da construção da ciência em currículos e manuais escolares. In: Conselho Nacional de Educação (Ed). **Currículos de nível elevado no ensino das ciências**. Lisboa: CNE, 2015. p. 180-238.

FLEMING, A. **Penicillin**: Nobel lecture, December 11, 1945. Disponível em: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1945/fleming-lecture.html> Acesso em 30 out. 2013.

FORTE, E.; HENRIQUES, A.; LOUREIRO, T.; RICOS-OLHOS, F.; MORAIS, A. M. A construção da ciência e a relação CTS no ensino das ciências: outro Vénus? Não obrigado! **Revista de Educação**, Lisboa, v. 9, n. 2, p. 101-113, 2000.

GEAKE, J. **The brain at school**: Educational neuroscience in the classroom. Berkshire: Open University Press, 2009.

GIL, F. A ciência e o problema da objectividade. In: GIL, F. (Coord). **A ciência tal qual se faz**. Lisboa: Edições João Sá da Costa, 1999. p. 9-29.

HOLTON, G.; ROLLER, D. **Foundations of modern physical science**. Cambridge: Addison-Wesley Publishing, 1958.

KNOOR-CETINA, K. A comunicação na ciência. In: GIL, F. (Coord.) **A ciência tal qual se faz**. Lisboa: Edições João Sá da Costa, 1999. p. 375- 393.

KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1991.

LEDERMAN, N.G. Nature of science: Past, present, and future. In: ABELL, S.K.; LEDERMAN, N.G. (Eds.) **Handbook of research on science education**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2017. p. 831-879.

LOBO, S.; LOPES, A.; NEVES, A.; MORAIS, A. M. A construção da ciência, a tecnologia e a sociedade na formação de professores: o Human Visible Project. **Revista de Educação**, Lisboa, v. 10, n. 1, p. 163-174, 2001.

MATTHEWS, M. R. (Ed.) **Science, worldviews and education**. Dordrecht: Springer, 2009.

McCOMAS, W. F. Nature of science in the science curriculum and in teacher education programs in the United States. In: MATTHEWS, M. (Ed.). **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. Dordrecht: Springer, 2014. p. 1993-2024.

MORAIS, A. M.; NEVES, I. P. A teoria de Basil Bernstein. Alguns aspectos fundamentais. **Revista Práxis Educativa**, Ponta Grossa, v. 2, n. 2, p. 115-130, 2007.

MORAIS, A. M.; NEVES, I. P. Estruturas de conhecimento e exigência conceptual na educação em ciências. **Revista Educação, Sociedade & Culturas**, Porto, v. 37, p. 63-88, 2012.

MORAIS, A. M.; NEVES, I. P.; FERREIRA, S. **Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas**: estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo. Lisboa: Edições Sílabo, 2014.

NRC (National Research Council). **National Science Education Standards**: observe, interact, change, learn. Washington: National Academy Press, 1996.

NRC (National Research Council). (2012). **A framework for K-12 science education**: practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington: National Academy Press, 2012.

OCDE. **PISA 2015 Assessment and Analytical Framework**: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264255425-en>> Acesso em: 3, dez. 2016.

PAIXÃO, I.; CALADO, S.; FERREIRA, S.; ALVES, V.; MORAIS, A. M. Continental drift: a discussion strategy for secondary school. **Science & Education**, v. 13, n. 3, p. 201-221, 2004. DOI: 10.1023/b:sced.0000025566.18164.37

POPPER, K. **The logic of scientific discovery**. Londres: Hutchinson, 1959.

SARAIVA, L. **Ensino das ciências na formação inicial de professores do 1.º ciclo do ensino básico**: contributos para uma mudança nas conceções sobre ciência e ensino das ciências. Tese (Doutorado) - Instituto de Educação da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

SILVA, P.; MORAIS, A. M.; NEVES, I. P. O currículo de ciências no 1.º Ciclo do Ensino Básico: estudo de (des)continuidades na mensagem pedagógica. **Revista Portuguesa de Educação**, Braga, v. 26, n. 1, p. 179-217, 2013.

SKLOOT, R. **A vida imortal de Henrietta Lacks**. Alfragide: Casa das Letras, 2011.

TABER, K. S. Reflecting the nature of science in science education. In: TABER, K. S.; AKPAN, B. (Eds.). **Science Education**: an international course companion. The Netherlands: Sense Publishers, 2017. p. 23-37.

TEIXEIRA, R. F. M.; PROENÇA, V.; CRESPO, D.; VALADA, T.; DOMINGOS, T. A conceptual framework for the analysis of engineered biodiverse pastures. **Ecological Engineering**, v. 77, p. 85-97, 2015. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.01.002

Terraprima. **Pastagens semeadas biodiversas**: uma inovação da engenharia da biodiversidade aplicada ao combate às alterações climáticas. Disponível em: <<http://www.terraprima.pt/pt/pagina/3>> Acesso em: 18 dez. 2014.

Terraprima (2013b, 30 de agosto). In Facebook <<https://www.facebook.com/Terraprima.Protecting.Land>>. Recuperado em 3 de fevereiro de 2015, de <<https://www.facebook.com/Terraprima.Protecting.Land/photos/a.275347222494729.82557.219799131382872/693718783990902/?type=1&theater>>.

WATSON, J. **A dupla hélice**. Lisboa: Gradiva, 1987.

WEINER, J. **O bico do tentilhão**: uma história da evolução nos nossos tempos. Alfragide: Editorial Caminho, 2006.

WILSON, E. **Cartas a um jovem cientista**. Lisboa: Clube do Autor, 2014.

XAVIER, J. **Experiência Antártica**: relatos de um cientista polar português. Lisboa: Gradiva, 2014.

ZIMAN, J. **An introduction to science studies**: the philosophical and social aspects of science and technology. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

ZIMAN, J. **Real science**: what it is, and what it means. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

Recebido em 15/03/2017

Aceito em 31/05/2017