

Relação pensamento-linguagem do termo “informação genética” no Ensino de Biologia: Uma síntese das concepções de professores de Ciências Biológicas em formação

Thought and language relationship of the term “genetic information”: A synthesis of the conceptions from Biological Sciences Teacher Education

Matheus Ganiko-Dutra

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências,
Câmpus de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência
matheus.ganiko@unesp.br

Ana Maria de Andrade Caldeira

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências,
Câmpus de Bauru, Departamento de Educação
ana.caldeira@unesp.br

Resumo

O desenvolvimento do conhecimento científico e o aumento de complexidade da tecnologia produzida e implementada na área da Genética demanda uma compreensão de conceitos fundamentais pelos cidadãos para que possam tomar decisões de níveis individual e coletivo no que concerne a essas questões. “Informação genética” é um conceito importante para a compreensão dos ácidos nucleicos, apesar da falta de uma definição precisa apontada pela pesquisa da literatura recente. Investigamos as compreensões de professores de Biologia em formação acerca deste conceito, usando um formulário pré e pós-teste, bem como entrevistas em grupo. Os resultados indicam que, à medida que os estudantes perceberam a possibilidade de este termo causar distorções conceituais, passaram a evitar seu uso. Propusemos uma definição do conceito para ser utilizada no Ensino de Genética e sugerimos algumas recomendações de como abordar o tema em sala de aula.

Palavras chave: Ensino de Genética, Epistemologia da Biologia, Formação de Professores.

Abstract

The development of scientific knowledge and the rise of complexity of the technology produced and implemented in the area of Genetics demand a comprehension of fundamental concepts by the citizens in order to make decisions at individual and collective levels in what may concern these questions. “Genetic information” is an important concept for the comprehension of the

nucleic acids, besides the lack of an accurate definition, highlighted by the literature review. We investigated the comprehensions from Biology teacher in training about this concept, using a pre and post-test form, as well as in group interviews. The results indicate that the perception by the students of the fact that this term may cause conceptual distortions lead them to avoid it. We propose a definition of the term for use in the Teaching of Genetics and suggest some recommendations of how to address this theme in classrooms.

Key words: Teaching of Genetics, Epistemology of Biology, Teacher Education.

Introdução

A ciência e a tecnologia na contemporaneidade adquiriam níveis sofisticados cuja trama de consequências não é explícita de imediato, o que requer uma análise minuciosa. As práticas de intervenção humana sobre a natureza permitem o desenvolvimento e a manutenção da qualidade de vida humana, mas também produzem riscos iminentes e irreversíveis que ameaçam a estabilidade da vida como conhecemos (PIETROCOLA *et al.*, 2021).

Neste sentido, viver em sociedades que dependem de tecnologias que produzem tais riscos, requer a capacidade de prevê-los e saber como preveni-los. Esta tarefa desafiadora pode ser realizada por meio do Ensino de Ciências que tenha como objetivo a alfabetização científica e tecnológica, habilitando os cidadãos a participarem de tomadas de decisão em nível individual e coletivo acerca destes temas, levando em consideração aspectos do conhecimento científico e de questões socioambientais, bem como seus aspectos políticos, ideológicos e morais.

Nos últimos anos, questões tecnológicas relacionadas à Genética e à Biologia Molecular têm ganhado relevância por conta do potencial de promover qualidade de vida, como os organismos geneticamente modificados e a “tesoura” molecular CRISPR/Cas9 no tratamento de câncer, por exemplo. Entretanto, ao optar por uma tecnologia, também se opta pelos seus riscos. Além disso, diversas destas práticas divulgadas envolvem aspectos pseudocientíficos e *fake news*, como, por exemplo, terapias que prometem tratar questões de ordem psicológica por meio da “reprogramação do DNA”.

Compreender essas tecnologias e avaliá-las a partir de sua fidelidade científica, de sua viabilidade econômica, de seus riscos sociais e biológicos, bem como de seus aspectos políticos, ideológicos e morais, requer a compreensão de conceitos da Genética, como do termo “informação genética”. Este conceito é usado de diversas formas no discurso científico e no ensino, muitas vezes de forma esvaziada de significado ou, até mesmo, metafórica, podendo causar distorções conceituais. Esta compreensão de natureza espontânea requer sistematização científica e foi o tema abordado nesta investigação.

A partir destas considerações, objetivamos investigar as concepções de professores de Biologia em formação acerca do conceito de “informação genética”, buscando listar quais são suas concepções e buscar uma síntese possível para ser utilizada como referência no Ensino de Genética, tendo em vista que uma literatura científica consultada aponta uma divergência de concepções.

Fundamentação teórica

A linguagem mediada por palavras consiste em uma das principais formas de representação

presente no Ensino de Ciências. A relação existente entre a linguagem e o pensamento é o que dá forma à realidade que nos cerca e como a percebemos. Neste sentido, mudanças na linguagem acarretam em mudanças na realidade percebida. Por meio do ensino mediado por palavras, os professores permitem que os estudantes reestruturam os fenômenos que estão a sua volta à medida que atribuem novos significados às palavras por meio das experiências de aprendizagem planejadas pelo professor.

Entretanto, existem palavras que apresentam uma relação pensamento-linguagem polissêmica ou conotativa, podendo causar resultados de aprendizagem indesejados, demandando um cuidado de planejamento específico. A estes resultados indesejados provocados pelas experiências de ensino sistematizadas que envolvem palavras polissêmicas ou conotativas sem tratamento específico que leve em consideração esta natureza da relação pensamento-linguagem, denominamos *distorções conceituais por polissemia ou figuras de linguagem* (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020).

Esta investigação está teoricamente estruturada a partir dos conceitos de distorção conceitual por polissemia e por metáfora. A polissemia consiste na evocação de significados alternativos para uma mesma unidade linguística (FILLMORE, 2006). Ceschim, Ganiko-Dutra e Caldeira (2020) indicam que no Ensino de Biologia, existem palavras polissêmicas por apresentarem um significado no uso cotidiano e outro significado no contexto científico, como a palavra “evolução”, por exemplo; e outras que apresentam mais que um significado dentro do próprio contexto científico, como é o caso da palavra “adaptação”, que pode indicar um fenômeno fisiológico ou evolutivo. A distorção conceitual é causada quando o estudante atribui um significado para estas palavras diferente daquele que está sendo usado pelo professor. Assim, o aluno pode atribuir uma dimensão de progresso e aperfeiçoamento para a evolução biológica, o que seria inadequado.

Já a metáfora consiste na figura de linguagem pela qual se entende um fenômeno em termos de outro. Existe um domínio X, que se conhece, e um domínio Y, que se objetiva conhecer. Ambos compartilham um determinado aspecto e, por conta desta relação, é possível entender Y em termos de X (LAKOFF; JOHNSON, 2008). Assim, é possível dizer “o genoma é um programa de computador”. Um programa de computador é o domínio conhecido, sabemos que ele possui comandos que são executados dependendo das entradas que podem promover diferentes resultados. Por meio deste aspecto em comum, seria possível compreender o domínio do genoma. Entretanto, entre os dois domínios, existem aspectos que são incompatíveis e que são ocultados pela metáfora e podem causar distorção conceitual no ensino. No exemplo apresentado, um aspecto incompatível seria que um programa de computador é produzido por um ser humano com um propósito específico, enquanto o genoma é um produto evolutivo de natureza contingente.

Neste sentido, Glynn (2004), construindo uma metáfora para explicar o uso da metáfora no Ensino de Ciências, propõe que ela seja usada como um andaime. O andaime é uma estrutura importante para construir um edifício. Entretanto, quando a obra está finalizada, o andaime precisa ser removido. Assim, acontece com a metáfora: ela é importante para certas etapas da aprendizagem de determinados conceitos, mas, por conta de seus aspectos incompatíveis, ela deve ser removida após a aprendizagem para evitar a promoção de distorção conceitual. Esta “remoção” acontece por meio da explicitação dos aspectos incompatíveis entre os domínios em questão, a ser realizada pelo professor (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020).

Uma consulta a uma literatura recente, bem como as discussões no grupo de pesquisa, indicou o potencial de o conceito “informação genética” estruturar uma relação pensamento-linguagem

de natureza polissêmica e/ou metafórica, como descrito a seguir.

Consensos e afastamentos acerca do conceito de “informação genética”

O debate epistemológico acerca do conceito de “informação genética” é divergente. Existem diferentes concepções e propostas de definições para o termo com argumentos de natureza variada, relacionando fenômenos que acontecem em período de tempo fisiológico, ontológico e evolutivo, bem como em diferentes níveis de organização da vida (GANIKO-DUTRA, 2021).

As concepções de informação genética identificadas na bibliografia consultada podem ser organizadas em categorias. A concepção de informação reificada, proposta por Williams (1992) concebe a informação como uma dimensão que existe em seu domínio próprio e de difícil definição, assim como matéria e energia. Esta definição atribui para a informação genética uma dimensão quase metafísica e nos distancia de uma compreensão científica do termo.

Uma das primeiras tentativas de definição da informação, tem origem com Claude Shannon na área da matemática (1948) e foi posteriormente emprestada pela Biologia (GODFREY-SMITH, 2008). Trata-se da ideia de “informação causal”. Se x contém informação sobre y , quer dizer que entre x e y existe uma relação de causa e consequência. Assim, dizer que o genótipo contém informação sobre o fenótipo, seria o mesmo que dizer que o último é uma consequência do primeiro. Esta concepção foi criticada por ser demasiadamente superficial (BERGSTROM; ROSVALL, 2011; GODFREY-SMITH, 2008) e os pesquisadores debruçaram-se na busca de uma compreensão semântica da informação. Nesta outra abordagem, a relação existente entre x e y é uma relação de representação, ou seja, uma relação simbólica. Esta ideia é reforçada pela existência do código genético, em que os códons representam os aminoácidos (MAYNARD-SMITH, 2000, p. 185). É desta concepção que surge a ideia de que o genoma seja um programa genético, que contém instruções e que controla o desenvolvimento dos organismos, a produção de proteínas e em quais contextos esses processos devem acontecer (SHEA, 2007). Um desdobramento da dimensão simbólica da informação também está presente na Biossemiótica, que indica a existência imanente de signos na natureza (EMMECHE, 1991).

Bergstrom e Rosvall (2011) contribuíram para o debate propondo uma mudança por meio do seguinte enunciado acerca da informação: “um objeto X carrega informação se a função de X é reduzir, por meio de suas propriedades sequenciais, a incerteza da parte de um agente que observa X ” (BERGSTROM; ROSVALL, 2011, p. 164, tradução nossa). Esta seria a proposta da informação transmissiva, que admite que a função evolutiva do DNA consiste na transmissão de informação. Nesta perspectiva, há uma mudança do fluxo da informação genética que, para a concepção semântica, era fisiológico, e passa a ser transgeracional na perspectiva transmissiva. Esta abordagem foi comentada e aceita por outros pesquisadores que se engajaram no debate (GODFREY-SMITH, 2011; MACLAURIN, 2011; STEGMANN, 2013).

Posteriormente, a proposta da informação evolutiva sistematiza e traz argumentos para defender que existe informação biológica codificada no DNA e que a ciência busca acessá-la por meio de modelos. Cada sequência de bases nitrogenadas que resulta em um produto proteico possui uma função biológica respectiva (KOONIN, 2016). Estas sequências, por apresentarem esta função biológica, são passíveis de seleção natural. Esta perspectiva resgata aspectos matemáticos da teoria de Shannon.

Finalmente, existem autores que defendem a existência de uma relação metafórica entre pensamento-linguagem no que diz respeito à informação genética. Planer (2014) critica a

concepção do genoma como um programa genético, uma vez que ela reduz a complexidade das relações existentes no ambiente molecular da célula para uma linearidade que não se valida. Além disso, compreender o genoma como um programa, requer a existência de um “leitor” que o interprete. O autor sugere que os genes são os próprios emissores e leitores dessa informação, em um jogo de sinalização (PLANER, 2014, p. 51-52). Apesar da crítica e da mudança de perspectiva, o autor ainda permanece utilizando uma linguagem metafórica. Levy (2011) já critica esta linguagem, apesar de reconhecer seu poder explicativo na Biologia, uma vez que, por meio dela, é possível compreender a produção de proteínas e que existe uma relação entre códons e aminoácidos.

Ganiko-Dutra (2021) conduziu uma busca pelas palavras-chave “*information*”, “*DNA*” e “*genetic*” no periódico *Biology & Philosophy* no período de 2000 a 2020 que resultou em 28 artigos, a partir dos quais foi possível identificar que os autores referiam-se a quatro diferentes objetos quando evocavam o termo “informação genética”: i) à informação molecular, que se refere a dados acerca da molécula de DNA, como peso e estrutura; ii) à informação genética propriamente dita, que refere-se à sequência de bases nitrogenadas e suas funções biológicas, como aquela discutida pela informação transmissiva e semântica; iii) à informação ambiental, que se refere aos elementos do ambiente externo à célula que são relevantes para as reações envolvendo os ácidos nucleicos, como luz, pH, concentração de íons, entre outros; e iv) à informação científica, que se refere àqueles dados produzidos pela comunidade científica no esforço de compreender os ácidos nucleicos dos diferentes organismos existentes.

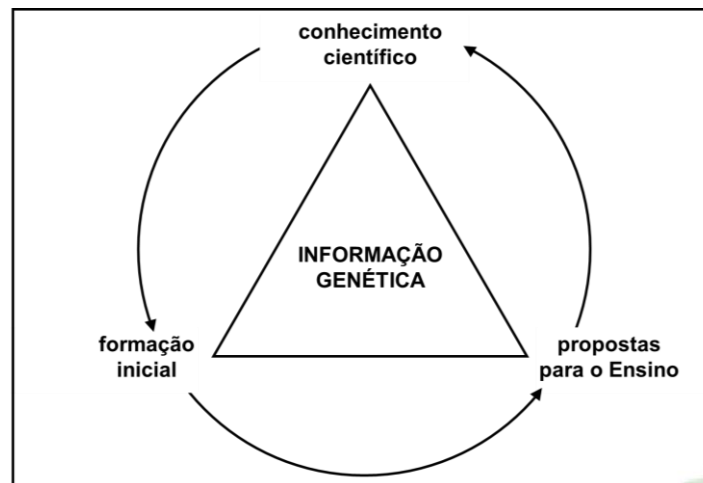
Esta revisão aponta um potencial polissêmico e metafórico do termo que pode causar distorções conceituais. Além disso, conclui-se que não existe uma definição consensual na literatura consultada, apesar do amplo uso desse termo na comunicação entre pesquisadores e no Ensino de Biologia. A seguir, descrevemos o percurso metodológico realizado para compreender as concepções de estudantes da formação inicial em Ciências Biológicas acerca do tema.

Metodologia

Tendo descrito os resultados apontados por uma revisão de literatura sobre este tema, apresentaremos as mudanças de compreensões diagnosticadas em um grupo de professores de Biologia em formação dedicado a debater sobre este tema, e apresentaremos uma síntese na forma de uma proposta para o Ensino de Genética. A Figura 1 descreve as etapas metodológicas percorridas neste trabalho: partimos de uma investigação acerca do conhecimento científico acerca do conceito de “informação genética”; investigamos as concepções apresentadas por estudantes da formação inicial em Ciências Biológicas; e propomos recomendações para o Ensino de Genética que podem contribuir com uma reelaboração do conhecimento científico.

Esta investigação tem natureza de pesquisa qualitativa (PATTON, 2002). Trata-se de um estudo longitudinal prospectivo original, intervencional, do tipo ensaio (HOCHMAN *et al.*, 2005). Buscamos compreender o fenômeno em profundidade, sem intenção de fazer generalizações. A amostragem escolhida foi intencional e os dados têm natureza descritiva, tendo sido produzidos a partir de entrevistas em grupo. A organização dos dados foi realizada a partir de análises indutivas do pesquisador, utilizando categorias criadas *a posteriori*.

Figura 1: Diagrama das dimensões de investigação do conceito de informação genética neste trabalho.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Por tratar-se de uma pesquisa envolvendo seres humanos, o projeto de pesquisa foi aprovado por Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), seguindo as resoluções nº 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde (CNS) do Brasil, bem como seus complementares, sob número de Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) 58230422.0.0000.5398.

Os participantes da pesquisa foram estudantes do curso de Ciências Biológicas de uma Universidade Estadual Paulista do Brasil que demonstraram interesse em participar de encontros do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB) para discutir o tema “informação genética” a partir do ponto de vista epistemológico. Participaram dos encontros sete estudantes, três do gênero feminino e quatro do gênero masculino.

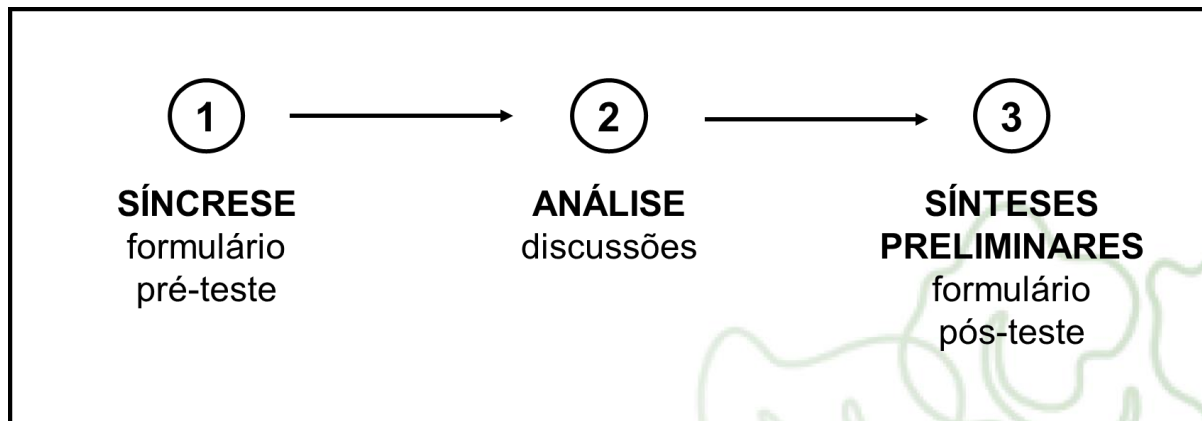
Os dados foram coletados por meio de um questionário estruturado com uma questão aberta que foi respondido por meio de formulário do *Google* e por meio de entrevistas semiestruturadas coletivas, utilizando perguntas engajadoras. Neste trabalho, analisaremos parte dos dados coletados ao longo dos encontros do primeiro e do segundo semestres de 2022.

No primeiro encontro, os estudantes foram convidados a responder a seguinte questão no formulário: “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”. Este momento diagnóstico, configura o momento de síntese da coleta de dados (Figura 2) e a intenção foi a de investigar, de forma indireta, de que forma os estudantes relacionam o conceito de “informação genética” com os ácidos nucleicos.

Nas entrevistas, os estudantes foram convidados a detalhar suas respostas, bem como a pensar sobre um problema linguístico: “informação genética” descreve um fenômeno de forma conotativa, por meio de uma metáfora, ou de forma denotativa? O pesquisador desempenhou o papel de observador participante, orientando as discussões por meio de movimentos discursivos (WINDSCHITL *et al.*, 2018), bem como, fazendo o registro das discussões. As entrevistas foram gravadas em arquivo de áudio e, posteriormente, transcritas para análise. Além disso, também foi realizada a leitura e discussão de três artigos no período (BARBIERI, 2019; BUCKLAND, 1991; CAPURRO; HJORLAND, 2007), caracterizando o período de análise de nosso percurso metodológico (Figura 2).

No último encontro, os estudantes foram solicitados a responder a mesma pergunta do primeiro encontro, caracterizando um momento de sínteses preliminares de nossa coleta de dados. As respostas do questionário e das entrevistas foram agrupadas por meio de análise indutiva do pesquisador.

Figura 2: Diagrama do percurso metodológico da coleta de dados com participantes de pesquisa no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Resultados e análise dos dados

Formulário pré-teste

Nas respostas para a pergunta do formulário no primeiro encontro, todos os estudantes utilizaram o termo “informação genética”, “mensagem” ou “instrução”, além de fazerem analogias com “receita de bolo”, por exemplo, conforme indicado na resposta do estudante 1 (E1).

“A função dos ácidos nucleicos está relacionada ao armazenamento e transferência de informações dos organismos. São eles o código mestre (“a receita do bolo”) de cada indivíduo. O funcionamento consiste em promover, por meio das suas informações, a síntese das proteínas que atuam na manutenção da vida.” [E1].

A analogia com receita de bolo que aparece nesta resposta permite compreender alguns aspectos da síntese de proteínas: assim como em uma receita existe uma lista de ingredientes e etapas do modo de preparo que são determinantes na produção do bolo, na síntese proteica existe uma sequência de bases nitrogenadas que determina uma proteína. Entretanto, existem alguns aspectos que são incompatíveis nesta analogia, como a intencionalidade da receita de bolo que foi elaborada por um ser humano com propósito. Além disso, a síntese de proteínas é um processo complexo que não acontece seguindo uma linearidade de um modo de preparo, mas por meio de reações químicas contingentes do ambiente molecular da célula.

Nesta resposta também é possível verificar uma concepção genecêntrica quando se afirma que os ácidos nucleicos são o “código mestre” de cada indivíduo. A construção fenotípica envolve outros processos além daqueles que envolvem os ácidos nucleicos (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2021). Neste sentido, atribuir um nível superior de causalidade para o DNA na construção do fenótipo é limitante para a compreensão de como surgem as características dos organismos. O genecentrismo é um problema recorrente no Ensino de

Biologia e também tem sido relatado em outras pesquisas (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020; GANIKO-DUTRA; CESCHIM; CALDEIRA, 2020; JUSTINA; SILVA; PIETRICOSKI, 2020).

Enquanto a resposta de E1 relacionava a função dos ácidos nucleicos a nível molecular, na resposta de E2 também está presente o nível transgeracional, ao explicar sobre a transferência hereditária de informação. Além disso, nestas respostas, os estudantes atribuem aos ácidos nucleicos a função de transmissão de informação, assim como proposto pela perspectiva da informação transmissiva (BERGSTROM; ROSVALL, 2011).

“A função dos ácidos nucleicos é guardar as informações genéticas e transferir estas hereditariamente contribuindo para a perpetuação da espécie e manutenção da vida através do controle das atividades celulares.” [E2].

Apesar de os estudantes recrutarem o termo “informação” para explicar a função dos ácidos nucleicos, por meio destas respostas, não é possível acessar o que os estudantes entendem por “informação”. Posteriormente, ao longo das discussões nos encontros do grupo, verificamos que os estudantes não possuíam clareza da definição desse conceito.

Discussões

Diversos aspectos relevantes para uma compreensão do conhecimento dos estudantes acerca do tema emergiram ao longo dos encontros. No recorte deste trabalho, relataremos três desses aspectos: i) “informação genética” é um conceito difícil de definir porque não existe uma definição clara do que seja “informação”; ii) o campo semântico da informação evoca metáforas com a área da comunicação no discurso do conhecimento biológico; e iii) os estudantes compreendem “código” como sinônimo de “sequência de bases nitrogenadas” e “informação”.

Ao longo das discussões nos encontros, os estudantes manifestaram nunca haver pensado acerca da definição de informação genética, conforme enunciações de E1 e E3 quando solicitados a comentar sobre o que quiseram dizer com a palavra “informação” nas respostas que haviam colocado no formulário pré-teste:

“É que eu acho que eu nunca parei para pensar o que é informação, sabe? Eu sei que existe informação, mas o que exatamente ela é, eu não sei. Quando a gente passa para o ponto de vista biológico, fica mais abstrato ainda.” [E1]

“Eu lembro que quando fui responder percebi que nunca parei para pensar nisso, sabe?” [E3].

A enunciação de E1 ilustra uma etapa percorrida pelo grupo na tentativa de elucidar o conceito. A fim de definir informação genética, os estudantes consideraram relevante buscar a definição de informação. Por isso, o grupo realizou a leitura do artigo de Capurro e Hjørland (2007), que demonstrou a ausência de consenso acerca da definição deste conceito, levando o grupo a concluir que “informação” é uma palavra polissêmica. A ausência de um significado único e preciso para a palavra “informação” dificulta a construção de um significado preciso para o termo “informação genética”.

Em relação ao segundo aspecto, por meio das enunciações dos estudantes, foi possível perceber que a palavra “informação”, seja ela usada em nível metafórico ou denotativo, evoca a metáfora “as reações com ácidos nucleicos são um processo de comunicação”. Assim, os estudantes se veem diante da necessidade de atribuir um emissor e um receptor para estes processos moleculares, conforme presente na enunciação de E4:

“O emissor era o organismo por meio das células da informação genética, mas eu coloquei

também que se a gente retroceder lá para trás, quem primeiro deu essa informação foi a união das informações genéticas dos progenitores. [...] E o receptor, eu coloquei que seria o maquinário de replicação celular do organismo. Então, a gente pode tanto encarar esse fenômeno como organismo falando com ele mesmo, e ele dando as informações de como se auto replicar e, também, encarar como sendo a máquina de replicação aprendendo a replicar as informações da união dos dois gametas.” [E4].

O emissor e o receptor seriam papéis relativos, ora atribuídos a agentes em um nível molecular e fisiológico, ora atribuídos ao nível de organismos e transgeracionalmente. Esta metáfora é incompatível com os fenômenos moleculares em que as reações envolvendo os ácidos nucleicos acontecem de forma contingente, sem emissor e receptor. Apesar dessa metáfora, os estudantes também manifestam compreensões além dela, como indicado pelo mesmo estudante e também por E3:

“Em última instância, tudo o que tem ali são um conjunto de formas, que podem ser combinadas de diferentes jeitos para formar estruturas diferentes que é o que faz com que o organismo funcione, que na verdade são as bases nitrogenadas e tudo que tem diferentes combinações, para formar diferentes proteínas, que são a base de funcionamento do organismo” [E4].

“Eu acho que na minha cabeça eu nunca pensei na célula realmente passando uma informação. Acho que a palavra pra mim, seria interação. Elas interagem por meios químicos.” [E3].

Além destes aspectos, também foi possível identificamos que os estudantes compreendem “código genético” como sinônimo de “informação” ou “sequência de bases nitrogenadas” e não como a correspondência que existe entre códons e aminoácidos, como indicado nas seguintes enunciações:

“O DNA em si é um código.” [E2].

“O emissor emite códigos, e o receptor pode receber esses códigos, mas rearranjá-los de uma forma diferente que o emissor emitiu.” [E3].

A partir deste problema identificado, o pesquisador sugeriu a leitura do texto de Barbieri (2019), acerca da evolução do código genético. Por meio desta leitura, os estudantes reelaboraram suas compreensões e passaram a compartilhar a definição de código como a “correspondência entre códons e aminoácidos”, como presente na enunciação de E5:

“O código genético será a correspondência de um códon com seu respectivo anticódon no RNAt, carregando um aminoácido.” [E5].

Síntese preliminares

Ao contrário do formulário pré-teste, no formulário pós-teste, ao responder a mesma pergunta, nenhum participante utilizou o termo “informação genética”. Uma vez que, ao longo dos encontros, os estudantes concluíram preliminarmente que este termo pode ser problemático por falta de referencial para defini-lo com rigor científico, optaram por não o utilizar uma vez que sabiam dos riscos de promover distorções conceituais por metáfora e polissemia. Os participantes tornaram-se críticos em relação ao uso deste termo e passaram a optar por explicações em termos moleculares que evitem o seu uso, como presente na resposta de E6:

“Os ácidos nucleicos são formados por bases nitrogenadas (no caso do DNA, por G, C, T, A, e, no caso do RNA, por G, C, A, U), um açúcar com cinco carbonos (no caso do DNA, por desoxirribose e no RNA, a presença de ribose) e um grupo fosfato. O DNA em eucariotos localiza-se, principalmente, no núcleo celular (exceção: DNA mitocondrial) e, em conjunto com

uma série de enzimas, realiza transcrição, tradução e duplicação do material genético que possui como produtos diversos tipos de RNA e proteínas.” [E6].

Reconhecemos que a criticidade com o uso do termo “informação genética” no discurso do Ensino de Genética reconhecendo como um termo polissêmico e metafórico é importante e um resultado desejado na formação de professores. Entretanto, também reconhecendo o amplo uso deste termo no ensino, na prática científica e também na mídia, reconhecemos que ele não deixará de ser usado, mesmo com o tratamento específico realizado por professores para evitá-lo em sala de aula. Por isso, gostaríamos de propor uma definição científica de “informação” não metafórica a ser utilizada na Biologia nos mais diversos fenômenos: comunicação celular, etologia, neurociência e genética. Esta definição também será validada pelos participantes do GPEB nos próximos encontros.

Neste sentido, gostaríamos de propor que se compreenda “informação” na Biologia como: o padrão específico dos elementos de um dado conjunto A que estabelece uma relação de correspondência previsível, convencionada, estabelecida historicamente a partir de restrições químicas, físicas, biológicas, culturais e/ou de forma contingente com elementos de outro conjunto A’. “Código” deve ser compreendido como a descrição das relações entre os elementos desses diferentes conjuntos. Assim, por exemplo, dizemos que há informação genética no DNA, porque seus elementos (bases nitrogenadas) estabelecem relações previsíveis com elementos do RNA e das proteínas, por exemplo. O código genético descreve as relações entre códons e aminoácidos, que são os elementos de cada diferente sistema (GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, a ser publicado). A seguir, apresentaremos propostas para abordar este termo no Ensino de Genética.

Implicações didáticas

Apesar do potencial de promoção de distorções conceituais presente no termo informação genética, acreditamos que evitar o uso desse termo no ensino não seja adequado, uma vez que, mesmo que esta expressão não esteja presente dentro da sala de aula no discurso docente, os estudantes deparar-se-ão com ela em outros contextos cotidianos, materiais didáticos e comunicações da mídia. Por isso, eles devem compreender e criticar este termo em profundidade para um entendimento crítico destas comunicações.

Tendo em vista o caráter polissêmico e metafórico da informação genética, seguindo as recomendações de Ceschim, Ganiko-Dutra e Caldeira (2020), sugerimos que no Ensino de Genética esses problemas sejam abordados explicitamente pelos professores de Biologia. Os docentes podem comunicar aos estudantes este caráter desta expressão, indicando seus possíveis significados, e, para aqueles significados metafóricos, apontar os aspectos compatíveis e incompatíveis da metáfora.

Gostaríamos de propor que esse processo não acontecesse por meio exclusivo da fala do professor, mas que o docente oportunizasse momentos para que os estudantes explicitassem suas compreensões prévias e tomassem consciência do processo de reelaboração dessas concepções ao longo do processo de ensino e aprendizagem. Os movimentos discursivos propostos por Windschitl e cols. (2018) são uma ferramenta que pode contribuir para proporcionar estas experiências de aprendizagem.

Como um momento de síntese da sequência didática, o professor pode propor aos estudantes a definição que propusemos na seção anterior, ou construí-la coletivamente. Sugerimos que ela seja usada como um ponto de referência para esta síntese, podendo ser utilizada para ser

criticada ou validada.

Conclusões

A definição do conceito de informação genética é polissêmica e metafórica, dificultando sua compreensão e podendo promover distorções conceituais, embora o termo seja amplamente utilizado no discurso científico e no Ensino de Biologia. Esta dificuldade é parcialmente justificada pelo fato de a palavra “informação” não possuir uma definição precisa. O campo semântico desta palavra evoca expressões metafóricas com comunicação que também podem causar distorções conceituais. Os estudantes também podem compreender o conceito de “código” como sinônimo de “sequência de bases nitrogenadas”.

Problematizar a definição deste termo com os estudantes por meio de conversas e oportunizar espaços de tomada de consciência do processo de aprendizagem são caminhos para o Ensino de Genética que busca evitar as distorções conceituais possíveis de serem causadas por conta da relação pensamento-linguagem das palavras desta área do conhecimento.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- BARBIERI, Marcello. Evolution of the genetic code: The ambiguity-reduction theory. **BioSystems**, v. 185, 104024, 2019. DOI: 10.1016/j.biosystems.2019.104024.
- BERGSTROM, Carl T.; ROSVALL, Martin. Response to commentaries on "The Transmission Sense of Information". **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 195-200, 2011. BUCKLAND, 1991
- CAPURRO, Rafael; HJORLAND, Birger. O Conceito de informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 12, n. 1, p. 148-207, 2007.
- CESCHIM, Beatriz; GANIKO-DUTRA, Matheus; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Relação pensamento-linguagem e as distorções conceituais no Ensino de Biologia. **Ciência & Educação**, 2020.
- CESCHIM, Beatriz; GANIKO-DUTRA, Matheus; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Como a teoria evolutiva na atualidade pretende explicar a origem da inovação das características vivas? **Genética na Escola**, v. 16, n. 2, p. 344-355, 2021.
- EMMECHE, Claus. A Semiotical Reflection on Biology, Living Signs and Artificial Life. **Biology & Philosophy**, v. 6, p. 325-340, 1991.
- FILLMORE, Charles, J. Frame Semantics In: GEERAERTSK, Dirk (ed.). **Cognitive Linguistics: Basic Readings**, Mouton de Gruyter: Berlin, Germany, 2006, p. 373-400.
- GANIKO-DUTRA, Matheus. **Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no uso de termos informacionais na Biologia Molecular e Genética**. 2021. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2021.

GANIKO-DUTRA, Matheus; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Relação pensamento-linguagem na compreensão do conceito de “informação genética na formação inicial em Ciências Biológicas. **XVI Encuentro Iberoamericano de Educación**. (a ser publicado).

GANIKO-DUTRA, Matheus; CESCHIM, Beatriz; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Nem só de seleção natural se constrói uma teoria evolutiva. In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. **Didática e Epistemologia da Biologia**. São Paulo: Espelho D’Alma, 2020. (Coleção Educação para a Ciência, 20). p. 53-86.

GLYNN, Shawn. The teaching-with-analogies model. **PUB TYPE**, v. 195, 2004.

GODFREY-SMITH, Peter. Information in Biology. In: HULL, David L.; RUSE, Michael. **The Cambridge Guide to the Philosophy of Biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2008, p. 103-119.

_____. Senders, receivers and genetic information: comments on Bergstrom and Rosvall. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 177-181, 2011.

HOCHMAN, Bernardo; NAHAS, Fabio Xerfan; OLIVEIRA FILHO, Renato Santos de; FERREIRA, Lydia Masako. Desenhos de pesquisa. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 20, sup. 2, p. 2-9. 2005. DOI: 10.1590/S0102-86502005000800002.

JUSTINA, Lourdes Aparecida Della; SILVA, Aline Alves; PIETRICOSKI, Luciana Borowski. Genótipo e Fenótipo: desvendando suas interfaces. In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. **Didática e Epistemologia da Biologia**. São Paulo: Espelho D’Alma, 2020. (Coleção Educação para a Ciência, 20). p. 125-146.

KOONIN, Eugene V. The meaning of biological information. **Philosophical Transactions of The Royal Society A**, v. 374, n. 2063, 2016. DOI: 10.1098/rsta.2015.0065. LAKOFF; JOHNSON, 2008

LEVY, Arnon. Information in Biology: A Fictionlist Account. **NOÛS**, v. 45, n. 4, p. 640-657, 2011.

MACLAURIN, James. Commentary on "The transmission sense of information" by Carl T. Bergstrom and Martin Rosvall. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 191-194, 2011.

MAYNARD-SMITH, John. The concept of Information in Biology. **Philosophy of Science**, v. 67, n. 2, p. 177-194, 2000.

PATTON, Michael Quinn. **Qualitative Research & Evaluation Methods**. 3ª ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2002.

PIETROCOLA, Maurício; RODRIGUES, Ernani; BERCOT, Filipe; SCHNORR, Samuel. Risk Society and Science Education: Lesson from the Covid-19 Pandemic. **Science Education**, v. 30, p. 209-233, 2021. DOI: 10.1007/s11191-020-00176-w. PLANER, 2014

SHANNON, Claude E. A Mathematical Theory of Communication. **The Bell System Technical Journal**, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948.

SHEA, Nicholas. Representation in the genome and in other inheritance systems. **Biology & Philosophy**, v. 22, p. 313-331, 2007.

STEGMANN, Ulrich E. On the 'transmission sense of information'. **Biology & Philosophy**, v. 28, p. 141-144, 2013.

WILLIAMS, George C. **Natural Selection: Domains, levels and Challenges**. New York: Oxford University Press, 1992.