

**A METÁFORA DA COMUNICAÇÃO NA COMPREENSÃO DO CONCEITO DE
INFORMAÇÃO GENÉTICA: UMA INVESTIGAÇÃO DA FORMAÇÃO INICIAL DE
PROFESSORES DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA**

**LA METÁFORA DE COMUNICACIÓN EN LA COMPRESIÓN DEL CONCEPTO DE
INFORMACIÓN GENÉTICA: UNA INVESTIGACIÓN DE FORMACIÓN INICIAL DE
PROFESORES DE CIENCIAS Y BIOLÓGÍA**

**THE METAPHOR OF COMMUNICATION IN GENETIC INFORMATION
CONCEPTUAL COMPREHENSION: AN INVESTIGATION IN INITIAL SCIENCE
AND BIOLOGY TEACHER EDUCATION**



Matheus GANIKO-DUTRA¹
e-mail: matheus.ganiko@unesp.br



Beatriz CESCHIM²
e-mail: beatriz.ceschim@unesp.br



Ana Maria de Andrade CALDEIRA³
e-mail: ana.caldeira@unesp.br

Como referenciar este artigo:

GANIKO-DUTRA, M.; CESCHIM, B.; CALDEIRA, A. M. A. A metáfora da comunicação na compreensão do conceito de informação genética: Uma investigação da formação inicial de professores de Ciências e Biologia. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 18, n. 00, e023096, 2023. e-ISSN: 1982-5587. DOI: <https://doi.org/10.21723/riaee.v18i00.18375>



| Submetido em: 14/06/2023
| Revisões requeridas em: 22/08/2023
| Aprovado em: 18/09/2023
| Publicado em: 17/10/2023

Editor: Prof. Dr. José Luís Bizelli

Editor Adjunto Executivo: Prof. Dr. José Anderson Santos Cruz

¹ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru – SP – Brasil. Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência.

² Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus – BA – Brasil. Docente na Área de Ensino de Biologia do Departamento de Ciências Biológicas. Doutorado em Educação para Ciência (UNESP).

³ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru – SP – Brasil. Docente no Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência. Doutorado em Educação (UNESP). Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1C.

RESUMO: O conceito de informação genética é de relevância para a compreensão de problemas socioambientais, como organismos geneticamente modificados e terapia gênica. Levando em consideração a possibilidade de esse conceito causar distorções conceituais por metáfora na aprendizagem, objetivamos descrever quais são as concepções de *informação genética* de professores de Biologia em formação e como suas compreensões foram modificadas ao longo de reflexões científicas e filosóficas. Coletamos dados por meio de questionários, entrevistas em grupo e representações individuais. Identificamos que professores em formação compreendiam a informação genética em termos metafóricos, avançaram para uma rejeição completa da metáfora e atingiram um ponto de equilíbrio no encerramento, exibindo compreensões compatíveis com o conceito científico proposto, apesar de exibirem uma combinação de perfis conceituais. Propusemos critérios linguísticos para utilizar a metáfora no ensino e para identificar o uso denotativo do termo. Oferecemos um quadro de assertivas para diagnóstico de concepções e indicamos implicações didáticas.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Biologia. Ensino de Genética. Informação. Metáfora. Linguagem.

RESUMEN: *El concepto de información genética es importante para el discernimiento de problemas socioambientales, como los organismos genéticamente modificados y la terapia génica. Habiendo en cuenta la posibilidad de que este concepto provoque deformes conceptuales por metáfora en el aprendizaje, nos proponemos describir cuáles son las concepciones de la información genética de los profesores de Biología en formación y cómo se han modificado sus conocimientos a lo largo de las reflexiones científicas y filosóficas. Los datos se coleccionaron a través de cuestionarios, entrevistas grupales y representaciones individuales. Identificamos que los docentes en formación entendían la información genética en términos metafóricos, avanzaban hacia un rechazo total de la metáfora y lograban un punto de equilibrio al final, exhibiendo comprensiones compatibles con el concepto científico propuesto, a pesar de exhibir una combinación de perfiles conceptuales. Propusimos criterios lingüísticos para el uso de la metáfora en la enseñanza e identificar el uso denotativo del término. Ofrecemos un marco de aserciones para el diagnóstico de las concepciones e indicamos implicaciones didácticas.*

PALABRAS CLAVE: Enseñanza de Biología. Enseñanza de Genética. Información. Metáfora. Lenguaje.

ABSTRACT: *In the present context of technological sophistication, Science Education might train citizens to be able to participate in individual and collective decision making. The concept of genetic information is relevant for the comprehension of socioenvironmental problems, such as genetic modified organisms and genic therapy, for example. Considering the possibility of this concept to provoke misconceptions by metaphor in learning, we aimed describing which are the conceptions of genetic information from Biology teachers in training and how these conceptions changed through scientific and philosophical conversation sessions. We collected data using questionnaires, group interviews and individual representations. We identified that teachers in training comprehended genetic information in metaphorical terms, moved forward to a complete rejection of the metaphor and reached a balancing point in the end, exhibiting comprehensions compatible with the proposed scientific concept, although some showed a combination of different conceptual profiles.*

KEYWORDS: *Biology Teaching. Science Teaching. Information. Metaphor. Language.*

Introdução

A Educação relacionada à Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) tem por objetivo aperfeiçoar o letramento científico. Nesse sentido, ela orienta os conteúdos e procedimentos curriculares para possibilitar a aprendizagem de tópicos que contribuam para a tomada de melhores decisões frente à natureza e aos problemas socioambientais (RICARDO, 2007; SANTOS; MORTIMER, 2000; SASSERON; CARVALHO, 2011). Nessa abordagem, os problemas socioambientais são os contextos de aprendizagem, enquanto os conceitos científicos e tecnológicos constituem os saberes de referência (SANTOS; MORTIMER, 2000).

Um dos temas mais importantes da Biologia é o Ensino de Genética, uma área que contribui para posicionar os estudantes acerca de questões como: organismos geneticamente modificados, vacinas de DNA e RNA, terapia gênica, edição de genes e a própria teoria evolutiva. Dentre os conceitos necessários para a interpretação destes cenários de tomada de decisão está o conceito de *informação genética*. Apesar da relevância atestada pela ampla ocorrência do termo nos materiais didáticos, observa-se a falta de consenso acerca de sua definição no debate filosófico e científico (GANIKO-DUTRA, 2021). Nesse mesmo momento, indicamos a possibilidade de este termo causar distorções conceituais devido a ele ser, possivelmente, de natureza conotativa. Para evitar distorções conceituais e, portanto, assegurar que os estudantes tenham acesso a termos mais precisos, propomos uma investigação sobre as concepções de professores de Biologia acerca do termo *informação genética*.

Assim, tendo em vista que o conceito de *informação* é um saber de referência para a compreensão e enfrentamento dos problemas socioambientais anteriormente citados, este trabalho tem como objetivo inicial diagnosticar as concepções prévias de *informação genética* correntemente disseminadas por graduandos dos cursos de licenciatura em Ciências Biológicas. Uma segunda abordagem mostrou como as compreensões desses licenciandos acerca do tema foram se tornando mais precisas ao longo das atividades propostas, no sentido de clarificar o conceito sob os pontos de vista científico e filosófico. Finalmente, propomos uma reflexão quanto à relação pensamento-linguagem de natureza metafórica e às distorções conceituais indesejáveis que elas aportaram.

O conceito de *informação genética*

A palavra *informação* é um dos princípios fundamentais da Biologia, sendo um importante conceito estruturante para esta ciência. De acordo com Scheiner (2010), ele pode ser sintetizado no enunciado: “a vida requer um sistema para armazenar, usar e transmitir informação”. Neste contexto, a expressão mais evidente da presença da palavra *informação* nos fenômenos biológicos se dá nos âmbitos da Genética e da Biologia Molecular.

Apesar da evidente importância, esse conceito vem sendo amplamente discutido a partir de diversos pontos de vista epistemológicos, porém, sem consenso aparente. Sem o objetivo de aprofundar a discussão neste momento, indicamos parte da diversidade de abordagens existente para interpretação do conceito: (I) informação causal (GODFREY-SMITH, 2008; SHANNON, 1948); (II) informação semântica (GODFREY-SMITH, 2008; MAYNARD SMITH, 2000; SHEA, 2007; 2011; STEGMANN, 2004); (III) informação reificada (WILLIAMS, 1992); (IV) informação transmissiva (BERGSTROM; ROSVALL, 2011; GODFREY-SMITH, 2011; MACLAURIN, 2011; STEGMANN, 2014); (V) informação evolutiva (KOONIN, 2016); (VI) informação fictícia (LEVY, 2011); e (VII) jogos de sinalização (PLANER, 2014).

No âmbito da Genética identificamos, pelo menos, as quatro seguintes acepções relativas ao termo *informação*, o que caracteriza uma polissemia (GANIKO-DUTRA, 2021). Trata-se das referências: (1) a dados moleculares, como estrutura e medidas quantitativas; (2) aos ácidos nucleicos; (3) a sinais provenientes do ambiente que interagem com os ácidos nucleicos; e (4) à prática científica. Como o termo também pode derivar para uma possível *metáfora* (GANIKO-DUTRA, 2021), ele será utilizado no sentido: (a) de um processo que estabelece relação de correspondência entre dois objetos; e (b) do objeto informado.

A maior parte dos autores concebem o termo *informação genética* a partir de uma relação pensamento-linguagem denotativa, mas alguns, como Levy (2011) e Maturana e Varela (2001), o consideram como uma metáfora. Levy (2011) propõe até sua eliminação na Biologia devido à falta de plausibilidade semântica para designar funções evolutivas, permanecendo válido somente para explicações proximais. Apesar de se postular a dimensão evolutiva da informação, quando se questiona acerca de seus efeitos nos organismos, as explicações, frequentemente, são fisiológicas (*idem*). Sua crítica ainda chama a atenção para o caráter intencional do termo, e até para o tom das explicações em que ele ocorre, frequentemente acompanhado de aspas.

Maturana e Varela (2001, p. 218) afirmam que não existe “informação transmitida” em Biologia, indicando que essa interpretação é concebida a partir da metáfora de que a

comunicação é um tubo: “a comunicação é algo que se produz num ponto, é levado por um conduto (ou tubo) e entregue em outro extremo, o receptor” (sic!). Segundo Levy (2011), as características das descrições informacionais são: a direcionalidade, uma vez que há um emissor que envia um fator intermediário para um receptor; a correspondência entre partes distintas de dois sistemas; e a agência dos emissores e receptores em detrimento da passividade do sinal (informação).

Apesar da importância das metáforas para a compreensão dos fenômenos moleculares que ocorrem nas células, argumenta-se que o uso delas requer cuidado para não incorrer em visões metafísicas que reificam a informação, bem como em visões genocentristas (LEVY, 2011). Além disso, Maturana e Varela (2001) rejeitam o uso dessa metáfora, que indicaria que a interação seria determinada pelo emissor e não pela dinâmica estrutural do sistema de acoplamento. Na metáfora, o receptor seria concebido como uma entidade passiva que apenas recebe a informação enviada pelo emissor. Entretanto, os autores defendem que os efeitos no receptor estão relacionados com as suas características estruturais, ou seja, de como a informação percebida reverbera no fluxo de matéria e energia autopoietica que o constitui.

Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no Ensino de Biologia

No âmbito da linguagem, que também estrutura nossa visão do mundo (EVANS; GREEN, 2006; VYGOTSKY, 2000), a metáfora ocorre quando entendemos um conceito em termos de outro (LAKOFF; JOHNSON, 2003). Podemos dizer que existe um domínio X, familiar e já conhecido, e um domínio Y, a ser conhecido. Como X e Y possuem aspectos compatíveis, podemos entender Y em termos de X. Nesse sentido, é possível afirmar que a metáfora coloca em evidência aspectos compatíveis entre os domínios, porém, oculta aspectos incompatíveis (LAKOFF; JOHNSON, 2003).

As metáforas têm origem em nossa experiência, como a noção de espaço e das ações físicas. A nossa cultura corrente admite, por exemplo, que o tempo se organiza segundo uma dimensão espacial, com o futuro orientado “para frente” e o passado, “para trás”. Para além dessas questões pontuais, as metáforas estruturam nossa percepção da realidade (LAKOFF; JOHNSON, 2003).

No que diz respeito à metáfora no âmbito do Ensino de Biologia, Wandersee, Fisher e Moody (2000) apresentaram um esquema acerca da apreensão de conceitos em Biologia. Entre as fontes de informação estão: a percepção do mundo vivo; a sociedade e a cultura; e as

aprendizagens formais e informais, que também incluem as metáforas. De acordo com eles, os meios que os estudantes dispõem para aprender são: a aquisição do conhecimento; a organização e reflexão; e o uso do conhecimento. Essas etapas são retroalimentadas, e a compreensão resultante pode influenciar a forma como se percebe a realidade.

Nosso grupo de pesquisa vem investigando a forma como o uso de termos conotativos pode originar distorções conceituais no Ensino de Biologia. Embora as analogias e metáforas constituam um recurso didático relativamente comum para compreender as características mais fundamentais da natureza, elas trazem, também, algum grau de deformação conceitual associado. Portanto, a transferência de aspectos incompatíveis entre dois domínios associados por uma metáfora configura a distorção conceitual por metáfora (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020).

Nesse sentido, ao refletirmos acerca do uso da metáfora no ensino (GLYNN, 2007), é possível explicá-lo por meio de outra metáfora. O uso delas no ensino é como um andaime. Tal qual esse instrumento é utilizado para construir um edifício e removido após a obra, a metáfora pode ser utilizada para ensinar, mas precisa ser removida assim que a aprendizagem é diagnosticada, a fim de evitar a transferência dos aspectos incompatíveis de um domínio a outro. Um molde discursivo para utilizar metáfora em sala de aula poderia ser: “assim como X [descrever o aspecto compatível do conceito familiar], Y também [reforçar aspecto compatível do conceito a ser ensinado]. Entretanto, apesar de X [descrever aspecto incompatível do conceito familiar que não pode ser transferido para o conceito a ser ensinado], o mesmo fenômeno não ocorre para Y”.

Metodologia

Esta investigação, de caráter qualitativo (PATTON, 2002), foi conduzida dentro do paradigma da visão-lógica de pesquisa interpretativa propugnada por Taylor (2014).

Os dados foram coletados por meio de questionários e roteiros de entrevistas aplicados a estudantes de graduação do curso de Ciências Biológicas de uma universidade estadual do estado de São Paulo, dos períodos integral e noturno. Nesse sentido, foram realizados quinze encontros entre junho de 2022 e janeiro de 2023, com amostra intencional, com o intuito de diagnosticar como evoluiu a abordagem dos graduandos sobre temas ligados à Genética Molecular. A investigação foi realizada em acordo com as diretrizes éticas do Conselho Nacional de Saúde mediante aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa.

Ao longo dos encontros, foram realizadas entrevistas em grupo gravadas segundo os movimentos discursivos propostos por Windschitl, Thompson e Braaten (2018). Aplicamos também um questionário inicial e um questionário final cujas respostas foram entregues por escrito.

Segundo os objetivos, as reuniões foram divididas em três momentos: (1) a etapa inicial (três encontros), quando problematizamos a questão epistemológica e entregamos o questionário inicial, (2) o desenvolvimento (nove encontros), quando foi proposta a leitura de Buckland (1991)⁴ e foram coletadas as respostas do questionário inicial e (3) o encerramento (três encontros), momento em que os participantes também responderam ao questionário final e explicitaram suas próprias representações sobre o tema.

O questionário inicial foi dividido em duas seções, para que as perguntas da segunda seção não influenciassem nas respostas da primeira. A primeira seção apresentava o seguinte comando:

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.

Como esperado, a partir de nossas hipóteses iniciais, de que houvesse uma profusão no uso da palavra *informação* nas respostas (como “transmissão da informação genética”), o tema suscitou um desdobramento, na segunda seção. Nesta perspectiva, a palavra *informação* pode ser entendida como uma unidade de comunicação. Quando informamos, estamos informando alguém sobre algo. Por isso, a segunda seção do formulário apresentou as seguintes questões:

- Quem estaria comunicando, isto é, quem seria o emissor?
- A quem estaria comunicando, isto é, quem seria o receptor da mensagem? e
- O que estaria sendo comunicado, isto é, qual é a natureza dessa informação; sobre o que ela versaria?

Entre as atividades realizadas no conjunto dos encontros que chamamos de *desenvolvimento*, podemos citar: discussões epistemológicas, leituras de artigos⁵, elaboração de representações individuais, análise das respostas coletadas no questionário inicial e análise da transcrição do segundo encontro.

⁴ Esta leitura contribuiu para um mapeamento inicial da discussão acerca da *informação* presente na área de Ciências da Informação e de Ciências da Natureza.

⁵ Barbieri (2019); Buckland (1991); e Capurro e Hjørland (2007).

Na etapa de *encerramento* foi proposta uma definição prévia da palavra *informação* para reflexão sobre a pertinência de seu uso em Biologia (GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2022). Esta proposta não foi apresentada como consenso científico aos estudantes, mas, sim, com caráter de “ciência viva”, ou seja, como uma questão que ainda se encontra em debate na comunidade científica. Também foi proposto o estudo de um caso de mimese observado na planta *Boquila trifoliata*⁶ e, por fim, foi aplicado o questionário final cujos resultados foram interpretados de acordo com a escala Likert. Dentre as assertivas presentes nesse instrumento, selecionamos aquelas relacionadas à *metáfora* (quadro 1).

Quadro 1 – Assertivas para coleta de dados no questionário final. As respostas foram estruturadas segundo a escala Likert, com quatro opções mediante justificativa em caso de discordância (concordo plenamente, concordo parcialmente, discordo parcialmente e discordo totalmente)

| Assertiva | Teriam os estudantes compreendido que... | Possível distorção conceitual |
|--|---|---|
| A) A informação genética pode ser emitida de um organismo para os seus descendentes (incorreta). | as reações bioquímicas dos seres vivos não enviam informação? Seres vivos sintetizam moléculas, emitem padrões de energia e ondas que, eventualmente, percebidos por outros organismos? Teriam eles consciência de que esse processo não é direcionado ou intencional, mas estabelecido somente por contingências evolutivas? | Sob o ponto de vista evolutivo, existiria um emissor de informações genéticas. |
| B) Não existe emissor para a informação genética que é traduzida na síntese proteica (correta). | | Sob o ponto de vista fisiológico, existiria um emissor das informações genéticas. |
| C) Os organismos recebem informação genética da geração parental (incorreta). | são os próprios seres vivos ou suas células que interagem com a matéria e energia ao redor, estabelecendo correspondências internas ou externas, de natureza material ou energética? Ocasionalmente, tais elementos foram produzidos por outros organismos, ou são a continuidade deles. | Sob o ponto de vista evolutivo, existiria um receptor da informação genética. |
| D) A célula é quem recebe a informação genética (incorreta). | a correspondência dos códons em aminoácidos é uma emergência metabólica da célula? | Sob o ponto de vista fisiológico, existiria um receptor da informação genética. |
| E) Informação genética nada mais é do que as moléculas de ácidos nucleicos em si (incorreta). | as sequências dos ácidos nucleicos não representam coisa alguma, mas são apenas moléculas? Os sofisticados padrões e processos nos quais eles estão envolvidos são produtos complexos que resultaram da evolução biológica. | Moléculas carregariam um significado. |
| F) Um pássaro pode emitir um som com a intenção de avisar o bando que existe um predador no local (incorreta). | a comunicação entre seres vivos é uma emergência evolutiva não intencional que surge a partir de interações contingentes? | Existiria intencionalidade nos processos de comunicação entre organismos vivos. |

⁶ Esta planta é capaz de mimetizar as folhas de outras plantas próximas de onde ela cresce. A proposta da discussão seria interpretar a mimese a partir do conceito de *informação*.

| | | |
|--|---|---|
| G) O gametófito feminino de briófitas envia um sinal químico com a finalidade de atrair o anterozoide (incorreta). | | |
| H) Uma molécula de toxina pode ser interpretada por uma célula como um ambiente inóspito (incorreta). | os padrões de resposta para as informações do ambiente ocorrem por interações químicas, físicas ou biológicas não intencionais e desprovidos de cognição? | Existiria uma interpretação cognitiva nos fenômenos biológicos. |

Fonte: elaborado pelos autores

Os dados foram selecionados a partir da transcrição dos trechos mais representativos dos encontros, quando os participantes discutiam explicitamente o conceito de *informação*. Nesta etapa, os dados foram anonimizados.

Em seguida, empreendemos uma análise temática com inferências realizadas a partir da síntese criativa dos autores (PATTON, 2002). Nesse sentido, identificamos três categorias de acepções por parte dos estudantes: *i*) distorções conceituais de natureza relação pensamento-linguagem (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020); *ii*) distorções conceituais de natureza epistemológica (*ibidem*); e *iii*) compreensão compatível com o conceito científico. No presente artigo, analisaremos a categoria *i*, que diz respeito à *metáfora*. Utilizamos indicadores para delimitar unidades de sentido e realizamos a categorização das concepções. Os indicadores foram *emissor, receptor, enviar, receber, transmitir, passar e interpretar*.

Resultados e discussão

Descreveremos as concepções dos estudantes (E), identificadas na análise temática para a categoria *metáfora*, em cada um dos três momentos: etapa inicial, desenvolvimento e encerramento.

Para responder à primeira pergunta do questionário inicial, cinco dos seis respondentes utilizaram a palavra *informação*, e todos utilizaram palavras indicativas de distorção conceitual. O estudante E2 respondeu o seguinte:

- A função dos ácidos nucleicos está relacionada ao armazenamento e transferência de informações dos organismos, são eles o código mestre (“a receita de bolo”) de cada indivíduo.

Aí podemos identificar a palavra *transferência* como um indicador de distorção conceitual por *metáfora*. Entretanto, os mesmos estudantes que exibiram indicadores de distorção, forneceram explicações compatíveis com o conceito científico:

O funcionamento consiste em promover, por meio das suas informações, a síntese de proteínas que atuam na manutenção da vida. (E2)

Além disso, todos os estudantes indicaram emissores e receptores para a informação genética, o que, por si, consiste em indicadores de distorção conceitual por metáfora. O emissor foi apontado como o organismo (E1), o material genético (E2 e E5), qualquer lugar em que esteja a informação (E3), a célula-mãe (E4), e o núcleo celular (E7). O receptor foi apontado como sendo o próprio organismo (E1, E2), o meio que a informação genética influenciou (E3), as células-filhas (E4), as células (E5) e o RNA (E7). Levy (2011) considera a metáfora da informação genética como um processo de comunicação flexível, o que pode explicar os apontamentos de diferentes emissores e receptores, segundo os diferentes contextos e pontos de vista.

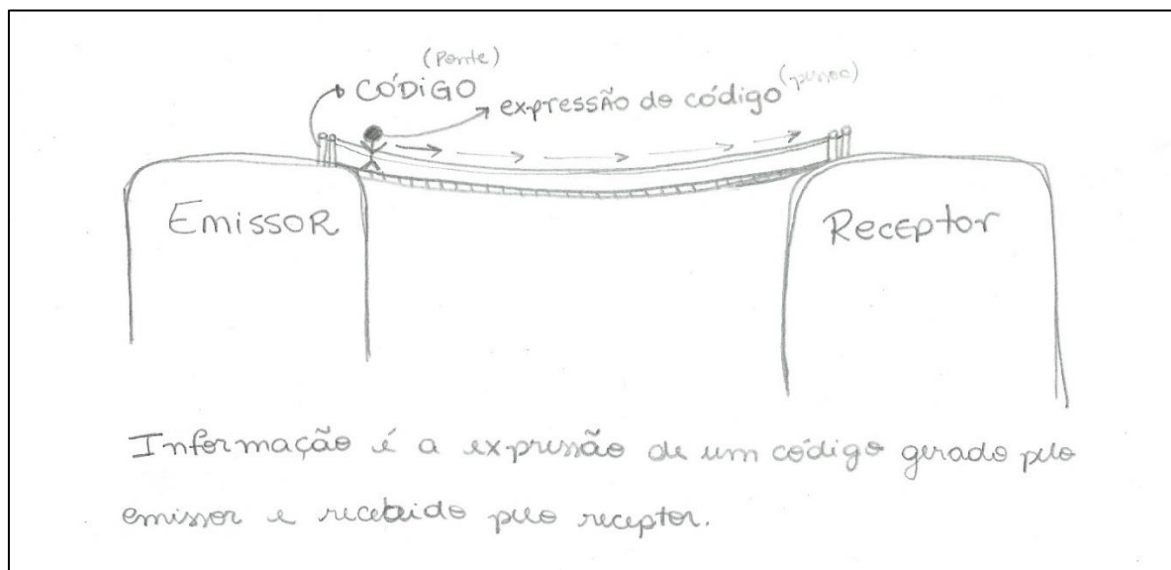
Ao longo das discussões dos encontros iniciais, os estudantes exibiram falas estruturadas com base em metáforas, como nos seguintes enunciados.

- É que a informação, na minha opinião, depende de quem está emitindo e de quem está recebendo. (E2);
- Fazendo uma analogia com propagação de som, tem que existir um meio para essa propagação, então a informação não seria o meio, ela seria o som. Ela seria o que é propagado. (E1); e
- Quero pensar na informação de uma célula tentando mandar alguma coisa para outra. Ela tem um objetivo e aí o receptor, na subjetividade dele, vai receber de formas diferentes. (E2).

Nesta última, a palavra *objetivo* deixa explícita uma conotação de intencionalidade.

Nas representações individuais, E2 representou a informação genética como um fator intermediário entre emissor e receptor (ilustração).

Figura 1 – Representação do conceito de informação genética produzido pelo estudante E2



Fonte: Elaborado por E2. Acervo dos autores

Em determinados momentos, foi possível identificar respostas cujos conceitos oscilaram entre a conotação e a denotação, como as transcritas a seguir.

- Tem o fato que pode ser um objeto, um acontecimento; tem a informação que é o meio; e tem você assimilando isso, que é o receptor. Então, o fato ou o objeto, não é a mesma coisa que o processo de transmissão dele. (E1)
- Se não tem uma interação com um outro organismo, não é uma informação, só é. (E4)

Neste diálogo, é possível observar a substituição da palavra *emissor* por *objeto*, indicando uma possível transição da metáfora para a denotação.

Ao longo do desenvolvimento, foi possível notar conflitos linguísticos dos estudantes ao buscar por outras palavras alternativas à metáfora. Esse foi o caso, por exemplo, do estudante E6 quando questionado acerca da definição de *informação genética*:

- Determinação de característica passível de transmissão dá a entender que eu estou me referindo à característica, mas eu quero me referir ao fator de determinação, então eu acho que eu trocaria por “determinante passível de transmissão”.

Ainda nesta etapa, foi possível observar um aumento no uso de termos científicos, por exemplo, nas seguintes falas:

- Acho que seria a sequência de bases nitrogenadas combinada em aminoácidos. (E1);
- Correspondência. (E6);
- Então a expressão é a transcrição, a partir do DNA e do RNA. (E6)

Além de optar por termos mais precisos, os estudantes demonstraram uma tendência por rejeitar a palavra *informação*. Quando solicitados a descrever a estrutura e o funcionamento dos ácidos nucleicos, a mesma tarefa solicitada no primeiro encontro, nenhum deles utilizou o termo *informação genética* em suas representações individuais. Anteriormente, cinco de seis participantes haviam usado essa expressão. E2, por exemplo, que na etapa inicial havia respondido com base em uma metáfora, apresentou a seguinte definição:

O funcionamento do material genético, contido no núcleo, se dá por meio dos processos de transcrição e tradução dos pares de bases que formam a fita em unidades de proteínas, que posteriormente (em conjunto) poderão atuar na fisiologia e morfologia do organismo como um todo.

Consideramos essa mudança como um sinal do “medo da metáfora”, como descrito por Lakoff e Johnson (2003).

Em alguns momentos, a rejeição dos termos relacionados à *informação* fez com que os estudantes a utilizassem como sinônimo de “material genético”, negligenciando o significado de *correspondência*, intrínseca a esse princípio fundamental da Biologia. Neste sentido, foi possível observar falas como:

- O DNA é a informação genética. (E1);
- A gente encontra informação genética como sinônimo de material genético, ou qualquer coisa herdável. (E6);
- A ideia seria substituir por termos como sinônimo de conjunto de genes, então utilizar termos como genótipo, tradução e transcrição. (E3).

Desde que adequadamente utilizada em salas de aulas, consideramos a metáfora um importante recurso para o Ensino da Biologia, como proposto, entre outros, por Ceschim, Ganiko-Dutra e Caldeira (2020) e Glynn (2007). Portanto, não é desejável que os estudantes adquiram aversão pela metáfora, mas, ao contrário, propomos que a partir de um aprofundamento epistemológico do conhecimento biológico, eles sejam capazes de desenvolver um conhecimento pedagógico do conteúdo (SHULMAN, 1986) suficiente para determinar os limites do uso da metáfora no ensino. Para isso, é importante que sejam capazes de distinguir os termos: *comunicação como tubo, informação genética e material genético*.

Em um dos encontros, o grupo de estudantes chegou a se aproximar de um consenso de que o termo *informação genética* poderia ser reduzido, sem risco de perder significado, para *material genético*. Entretanto, a informação genética não pode ser tomada como sinônimo de

DNA e RNA. A informação consiste na relação triádica entre dois objetos e a correspondência entre eles. Uma intervenção do pesquisador ao questioná-los “Qual é a função do DNA?” fez com que reelaborassem suas concepções e atingissem a ideia de correspondência.

No encerramento, foi possível observar que os estudantes passaram a ser mais criteriosos para utilizar os termos informacionais, associados à ideia de correspondência, conforme indicado pelas seguintes falas:

- Eu fiquei pensando que a informação está diretamente ligada à correspondência. (E3);
- Se você coloca a mão em alguma coisa quente, tem a correspondência entre a coisa quente e o impulso que ela gera, e tem a informação que vai correr só no sistema nervoso, que é a informação do estímulo e a ação que você tem que fazer, que no caso é o arco reflexo. Eu tenho a impressão que nesse caso, a gente tem duas informações, porque são duas correspondências, né? Tem a correspondência entre o objeto que gera o estímulo, e o estímulo e a ação consecutiva. (E1).

As evidências indicam que os encontros permitiram que os estudantes passassem pelos três estágios de compreensão conceitual da Biologia: aquisição de conhecimento (etapa inicial e experiências de aprendizagem externas ao contexto desta pesquisa, vivenciadas no curso), organização e reflexão (debates mediados pelo pesquisador e metacognição) e aplicação do conhecimento (interpretação de fenômenos e concepções prévias) (WANDERSEE; FISHER; MOODY, 2000).

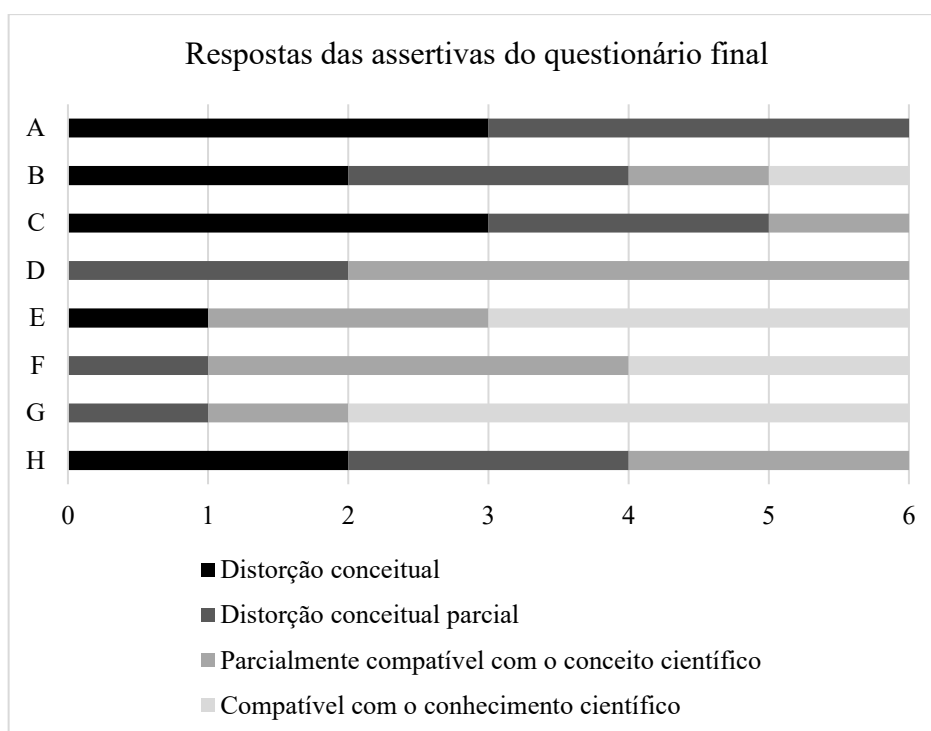
Apesar de identificar um “ponto de equilíbrio” no uso do termo *informação genética* — que está entre a metáfora, que representa um exagero ao atribuir à informação aspectos incompatíveis; e entre a redução, que remove a correspondência como uma importante essência do conceito —, os estudantes também exibiram concepções mistas, em que manifestavam, ao mesmo tempo, concepções compatíveis com o conceito científico e metafóricas, como ficou claro na fala de E4.

- Eu fiquei pensando que quando eu olhei para a árvore, eu estava recebendo aquela informação e aí eu pensei em algum outro animal vendo-a como obstáculo. Ele é o receptor porque ele está interagindo e está recebendo essa informação, mas também está percebendo por que tem a correspondência formulando essa informação, processando, né?

Ao mesmo tempo em que há indicadores como os termos *correspondência* e *interagindo*, podemos identificar cicatrizes de um pensamento metafórico, como indicado pelas palavras *recebendo* e *receptor*.

As respostas do questionário final com as respectivas quantificações das assertivas encontram-se no gráfico a seguir.

Gráfico 1 – Respostas ao questionário final, indicando a quantidade de assertivas assinaladas em cada opção da escala Likert. O eixo x corresponde à quantidade respondentes e o eixo y corresponde às assertivas indicadas no quadro 1



Fonte: Elaborado pelos autores

As assertivas que descreviam *informação* em termos metafóricos, utilizando palavras como *emissão* e *receptor*, foram as que mais contribuíram para a distorção conceitual por metáfora (A, B, C e D). Os estudantes foram capazes de identificar a inconsistência teleológica nas assertivas F e G, indicando a ausência de concepções que remetessem explicitamente à intencionalidade.

Tais resultados nos sugerem uma das seguintes hipóteses: *i*) existem perfis conceituais (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2011) relacionados ao conceito de informação genética, sendo eles o perfil que estrutura a interpretação dos fenômenos pela metáfora e o perfil que interpreta a partir da correspondência; ou *ii*) os estudantes não vivenciaram experiências de aprendizagem suficientes para progredirem da conotação para a denotação. Nesse sentido, seria importante que esta investigação tivesse continuidade a fim de verificar se é possível que os estudantes atinjam um nível de aprendizagem no qual apenas forneçam evidências de aprendizagem com indicadores do conceito científico.

Carvalho, El-Hani e Nunes-Neto (2020) sugerem uma reorganização do currículo de Biologia para o Ensino Médio que priorize os conceitos estruturantes dessa ciência. Uma vez que os conceitos estruturantes trazem mais benefícios cognitivos do que a simples

memorização, concordamos com a proposta, desde que alinhada aos objetivos da Educação CTSA. De fato, a aquisição de conceitos estruturantes permite uma reorganização cognitiva que integra os conhecimentos prévios dos estudantes, oferecendo uma nova interpretação, mais abrangente e menos fragmentada.

Nesse sentido, o ensino de *informação* como um princípio fundamental da Biologia é potencialmente integrador, uma vez que permitirá aos estudantes apalpar uma nova interpretação dos fenômenos abordados no estudo das ciências da vida. A partir do esquema proposto por Ganiko-Dutra, Ceschim e Caldeira (a ser publicado), por meio do ensino do conceito de informação, é possível integrar conhecimentos de diversos níveis de organização (molecular, orgânico e populacional) em diversos recortes de tempo (fisiológico, ontogenético e evolutivo).

Considerações finais

A partir da compreensão da *informação* como princípio fundamental da Biologia, do mapeamento das distorções conceituais por metáfora mobilizadas para a compreensão conceitual, e levando em consideração o potencial integrador desse conceito, elencamos alguns desdobramentos didáticos.

Os movimentos discursivos estratégicos e planejados consistem em um valioso recurso para proporcionar experiências de aprendizagem para que os estudantes tenham oportunidade de confrontar e refletir sobre concepções metafóricas e reconstruam suas próprias compreensões. Neste sentido, a sistematização proposta por Windschitl, Thompson e Braaten (2018) é de grande contribuição para o repertório do professor de Biologia.

Embora o uso de metáforas possa gerar distorções conceituais, seu valor como recurso didático não deve ser descartado. Desde que o professor possua conhecimento pedagógico do conteúdo, é possível que a metáfora contribua para aprendizagem do conceito de *informação* ao explicitar a noção de correspondência. Entretanto, uma vez que o professor diagnostique a sedimentação da aprendizagem, é preciso também explicitar os aspectos incompatíveis da metáfora, por exemplo, a intencionalidade.

Uma importante etapa para a aprendizagem é diferenciar: *material genético*, *informação* e *comunicação*. É possível que os estudantes misturem estes três conceitos, que são incompatíveis. Nesse sentido, é pertinente que o professor faça a distinção entre eles. Com isso, queremos dizer que ensinar sobre a estrutura e funcionalidade dos ácidos nucleicos não é

suficiente para a aprendizagem do conceito de *informação*. Entretanto, é por meio do ensino dos conceitos científicos específicos da Biologia que se podem ser ensinados os conceitos estruturantes (CARVALHO; EL-HANI; NUNES-NETO, 2020). Assim, ao ensinar a estrutura e o funcionamento dos ácidos nucleicos, os professores podem ensinar também o conceito de *informação*.

No que diz respeito à estrutura curricular de cursos de formação inicial em Ciências Biológicas, consideramos que o conceito de *informação* pode estar presente em diferentes momentos: 1) na disciplina de Filosofia da Biologia, aprofundando a discussão e oferecendo um espaço de integração de conceitos; 2) em disciplinas específicas de Genética, Biologia Molecular, Fisiologia Celular, Evolução, Etologia, entre outros. Em cursos de licenciatura, este conceito ainda pode ser explorado em disciplinas de prática de ensino, como uma possibilidade de os professores organizarem aulas utilizando *informação* como um saber de referência para o enfrentamento de problemas socioambientais; como também ser um eixo integrador que organiza os conteúdos de Biologia no Ensino Básico.

Nesta pesquisa, buscamos oferecer critérios para o ensino de Genética apontando palavras indesejadas, por se tratarem de um uso metafórico da linguagem; critérios para identificar um uso denotativo da palavra *informação* como sinônimo de correspondência, oferecendo um quadro de assertivas para diagnóstico de concepções; e indicando implicações didáticas. Esperamos que estes registros contribuam com o Ensino de Genética e com a formação cidadã para participação nas tomadas de decisão relacionadas a problemas socioambientais que envolvam questões científicas e tecnológicas.

REFERÊNCIAS

- BARBIERI, M. Evolution of the genetic code: the ambiguity-reduction theory. **BioSystems**, v. 185, 104024, 2019. DOI: 10.1016/j.biosystems.2019.104024.
- BERGSTROM, C. T.; ROSVALL, M. The transmission sense of information. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 159-176, 2011.
- BUCKLAND, M. K. Information as thing. **JASIST**, v. 42, n. 5, p. 351-360, 1991. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4571(199106)42:5%3C351::AID-ASI5%3E3.0.CO;2-3.
- CAPURRO, R.; HJORLAND, B. O conceito de informação. Tradução: CARDOSO, Ana Maria Pereira; FERREIRA, Maria da Glória Achtschin; AZEVEDO, Marco Antônio de. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 12, n. 1, p. 148-207, 2007.

CARVALHO, Í. N. de; EL-HANI, C. N.; NUNES-NETO, N. How Should We Select Conceptual Content for Biology High School Curricula? **Science & Education**, v. 29, p. 513-547, 2020. DOI: 10.1007/s11191-020-00115-9.

CESCHIM, B.; GANIKO-DUTRA; M.; CALDEIRA, A. M. de A. Relação pensamento-linguagem e as Distorções Conceituais no Ensino de Biologia. **Ciência & Educação**, v. 26, e20068, 2020. DOI: 10.1590/1516-731320200068.

EVANS, V.; GREEN, M. **Cognitive linguistics: An introduction**. New York: Routledge, 2006.

GANIKO-DUTRA, M. **Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no uso de termos informacionais na Biologia Molecular e Genética**. 2021. 135 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, 2021.

GANIKO-DUTRA; M.; CALDEIRA, A. M. de A. Relação pensamento-linguagem na compreensão do conceito de “informação” na formação inicial em Ciências Biológicas. *In: ENCUESTRO IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN (EIDE)*, 16., 2022, Santiago.

GLYNN, S. M. The Teaching with Analogies Model. *In: MUTH, K. D. Children’s Comprehension of Text*. Newark: International Reading Association, 2007. p. 185-204.

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

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

KOONIN, E. 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, G.; JOHNSON, M. **Metaphors we live by**. London: University of Chicago Press, 2003.

LEVY, A. Information in Biology: A Fictionalist Account. **NÔUS**, v. 45, n. 4, p. 640-657, 2011.

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

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. São Paulo: Palas Athena, 2001.

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

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P.; EL-HANI, Charbel N. Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. **Tecné, Episteme y Didaxis**, n. 30, p. 111-128, 2011.

PATTON, M. Q. **Qualitative Research & Evaluation Methods**. 3. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2002.

PLANER, R. J. Replacement of the "genetic program" program. **Biology & Philosophy**, v. 29, p. 33-53, 2014.

RICARDO, E. C. Educação CTSA: obstáculos e possibilidades para sua implementação no contexto escolar. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. esp., 2007.

SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Revista Ensaio**, v. 2, n. 2, p. 110-132, 2000.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SCHEINER, S. M. Toward a Conceptual Framework for Biology. **The Quarterly Review of Biology**, v. 5, n. 3, p. 293-318, 2010.

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

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

SHEA, N. What's transmitted? Inherited information. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 183-189, 2011.

SHULMAN, L. S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

STEGMANN, U. E. On the 'transmission sense of information'. **Biology & Philosophy**, v. 28, p. 141-144, 2014.

STEGMANN, U. E. The arbitrariness of the genetic code. **Biology & Philosophy**, v. 19, n. 2, p. 205-222, 2004.

TAYLOR, P. C. Contemporary Qualitative Research. In: LEDERMAN, Norman G.; ABELL, Sandra K. **Handbook of Research on Science Education: Volume II**. Nova York: Routledge, 2014. p. 38-54.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

WANDERSEE, J. H.; FISHER, K. M.; MOODY, D. E. The Nature of Biology Knowledge. *In: FISHER, K. M.; WANDERSEE, J. H.; MOODY, D. E. **Mapping Biology Knowledge***. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 25-38.

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

WINDSCHITL, M.; THOMPSON, J.; BRAATEN, M. Talk as a Tool for Learning. *In: WINDSCHITL, M.; THOMPSON, J.; BRAATEN, M. **Ambitious Science Teaching***. Cambridge: Harvard Education Press, 2018. p. 39-64.

CRedit Author Statement

Reconhecimentos: Agradecemos aos participantes do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB), aos avaliadores do periódico e às professoras da banca de qualificação do primeiro autor, pelas considerações que contribuíram para o aprimoramento do trabalho.

Financiamento: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001; o Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB) recebe financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Conflitos de interesse: Não.

Aprovação ética: O trabalho envolve coleta de dados com seres humanos e passou por aprovação em Comitê de Ética e Pesquisa pela Plataforma Brasil. CAAE: 58230422.0.0000.5398. Número do parecer: 5.500.604.

Disponibilidade de dados e material: Os dados estarão parcialmente disponibilizados em Repositório Institucional.

Contribuições dos autores: O primeiro autor contribuiu com a concepção do trabalho, coleta de dados, análise de dados e redação do manuscrito; a segunda autora contribuiu com a concepção do trabalho, redação e revisões críticas; a terceira autora foi a orientadora do trabalho.

Processamento e editoração: Editora Ibero-Americana de Educação.
Revisão, formatação, normalização e tradução.

