ISSN: 2675-4630
Vol. 03 | Nº. 02 | Ano 2021

MAPAS CONCEITUAIS COM ERROS COMO FACILITADORES DA RESSONÂNCIA PEDAGÓGICA

Concept maps with errors as facilitators of pedagogic resonance

Mapas conceptuales con errores como facilitadores de la resonancia pedagógica

Paulo Rogério Miranda Correia
Escola de Artes, Ciências e Humanidades – Universidade de São Paulo
prmc@usp.br

Joana Guilares de Aguiar
Instituto de Química, Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências da Natureza – Universidade Federal Fluminense
joana_aguiar@id.uff.br

RESUMO

A utilização dos mapas conceituais (MC) em sala de aula tem privilegiado os alunos como mapeadores. Ainda que seja altamente desejável, o tempo necessário para treinar os alunos e corrigir os mapas é incompatível com a rotina dos professores. Colocar o professor na condição de mapeador é uma possibilidade raramente explorada. Este trabalho discute como uma tarefa de avaliação pode ser baseada em MC com erros, que foram inseridos pelo professor e devem ser identificados pelos alunos. A tarefa foi incluída como parte das atividades de uma avaliação formal no ensino superior, sendo realizada pelos alunos em menos de 20 minutos. A correção produziu informações relevantes sobre o nível de dificuldade dos erros conceituais a partir das respostas dos alunos, permitindo ao professor formular devolutivas específicas, de acordo com as dificuldades de cada aluno. Isso potencializa a aprendizagem significativa e a ressonância pedagógica.

Palavras-chave: Mapas conceituais, Aprendizagem significativa, Avaliação, Ressonância pedagógica.

ABSTRACT

The use of concept maps (Cmaps) in classrooms has privileged the students as mappers. Although highly desirable, the time needed to train students and correct the maps is incompatible with the teachers' routine. The teacher acting as a mapper is a possibility rarely explored. This paper discusses how an evaluation task based on Cmaps with errors, which are added by the teacher and must be identified by the students. The assignment was included as part of the formal assessment activities and was performed by the students in less than 20 minutes. The task correction produced relevant information about the difficulty level of the conceptual errors from the students' answers. This information is valuable because it allows the teacher to formulate specific comments according to the difficulties of each student, promoting pedagogic resonance and meaningful learning.

Keywords: Concept maps, Meaningful learning, Assessment, Pedagogic resonance.

RESUMEN

El uso de mapas conceptuales (MCs) en el aula ha privilegiado a los estudiantes como mapeadores. Aunque muy deseable, el tiempo necesario para capacitar a los estudiantes y corregir mapas es incompatible con la rutina de los profesores. Colocar al profesor en la condición de mapeador es una posibilidad raramente explorada. Este trabajo analiza cómo una tarea de evaluación puede basarse en MCs con errores, que fueron ingresados por el profesor y deben ser identificados por los estudiantes. La tarea se incluyó como parte de las actividades de una evaluación en la educación superior, siendo realizada en menos de 20 minutos. La corrección produjo información relevante sobre el nivel de dificultad de los errores conceptuales a partir de las respuestas de los estudiantes. Esta información permitió al docente formular una retroalimentación específica, de acuerdo con las dificultades de cada alumno. Esto mejora el aprendizaje significativo y la resonancia pedagógica.

Palabras clave: Mapas conceptuales, Aprendizaje significativo, Evaluación, Resonancia pedagógica.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de ensino superior está se reinventando. Atualmente, ele opera numa sociedade forjada na explosão do conhecimento onde a crescente importância da ciência, da tecnologia e da inovação demandam novas formas de criar e disseminar esse conhecimento (Friedman, 2007). Dentre os alvos dessa transformação temos o próprio processo de ensino-aprendizagem bem como novas metodologias de avaliação do conhecimento do aluno.

Aprender a aprender e aprender por toda a vida são essenciais para que os egressos exerçam de forma competente e responsável suas funções na sociedade (UNESCO, 2005). Aprender requer muito mais do que a habilidade de recuperar informações, fatos e nomes. O processo de aquisição do conhecimento implica numa ação intencional para atribuir significado entre o conhecimento existente na memória de longo prazo e a nova informação adquirida. A aprendizagem profunda ou significativa ocorre quando o aprendiz é capaz de aplicar a nova informação modificada em sua estrutura cognitiva, em diferentes contextos em que a aprendizagem ocorreu, mesmo após um longo período de tempo (Ausubel, 2000). Para promover uma aprendizagem significativa e minimizar as ideias de senso comum sobre questões complexas, os professores devem reconhecer a importância do planejamento da instrução e da avaliação.

1.1 A aprendizagem, as mudanças nas estruturas de conhecimento e a ressonância pedagógica

Uma das formas de explicar o processo de ensino-aprendizagem é a utilização de um modelo baseado nas mudanças de estrutura de conhecimento em dois ciclos possíveis (Hay, Kinchin, & Lygo-Baker, 2008), que remetem à aprendizagem superficial (ou mecânica) e profunda (Figura 1). A primeira transformação do conhecimento acontece quando o professor, utilizando a sua rede de conhecimento, prepara a sua aula a partir da seleção dos conceitos a serem abordados (processo 1). O encadeamento conceitual reflete uma estratégia orientada à consecução de um objetivo, qual seja, o de facilitar o aprendizado dos alunos. Iniciantes no tema de estudo, os alunos apresentam uma estrutura conceitual tipicamente radial, na qual um conceito mais geral se desdobra em vários outros conceitos subordinados a ele. A realização das aulas permite a interação entre os conhecimentos dos alunos com a sequência didática elaborada pelo professor (processo 2). A partir do entendimento da aula, os alunos podem reconstruir suas estruturas conceituais (processo 3) para que, progressivamente, comecem a emergir especialistas em ascensão.

Dois tipos de aprendizagem podem ocorrer durante esse processo e isso dependerá, em grande parte, do tipo de devolutiva oferecida pelo professor. Se, durante o processo de avaliação da aprendizagem, o professor adotar como referência a sequência didática (estrutura linear), a aprendizagem superficial será favorecida (processo 5) porque os alunos não têm acesso à estrutura de conhecimento do especialista: a interação professor-aluno se mantém a partir da sequência

didática, que é uma versão parcial e simplificada do conhecimento especializado. Se, por outro lado, o professor utilizar como referência a sua rede de conhecimento, a aprendizagem profunda será favorecida. Nesse caso, a regulação do processo de ensino-aprendizagem extrapola a organização conceitual das aulas e explora o entendimento do especialista (processo 4). A interação professor-aluno se mantém a partir da complexidade do conhecimento do especialista, criando oportunidades para que os iniciantes alcancem tal patamar mais avançado durante o decorrer da disciplina.

Segundo Kinchin, Lygo-Baker e Hay (2008) o grau de incompatibilidade entre a estrutura de conhecimento especializado do professor e a aprendizagem do aluno, definido por eles como ressonância pedagógica, deve ser diminuído por estratégias que permitam visualizar a construção do conhecimento pelo aluno de modo que o professor possa ajudá-lo a superar os obstáculos de aprendizagem.

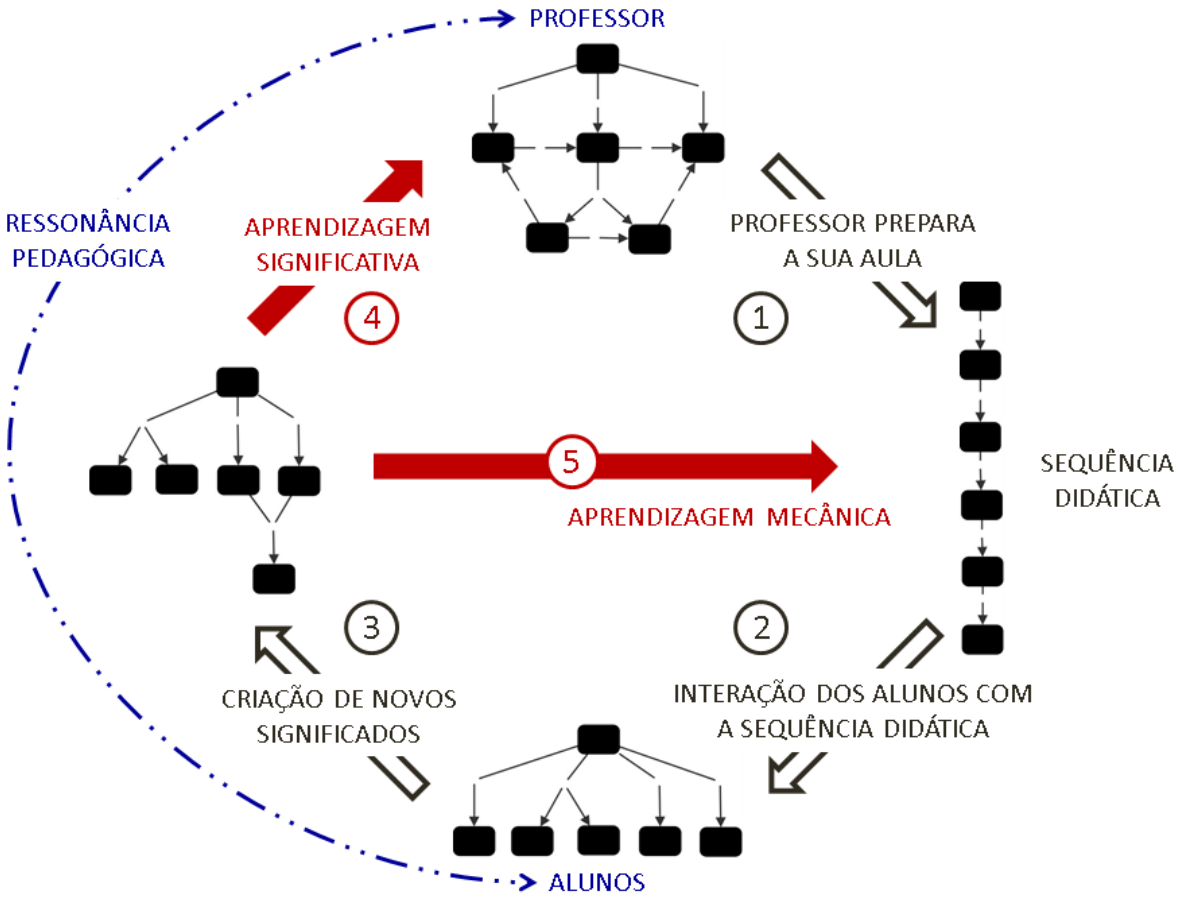

Figura 1 – As mudanças nas estruturas de conhecimento durante o processo de ensino-aprendizagem (1-3). A referência para as devolutivas do professor se relaciona com o tipo de aprendizado dos alunos (4-5, em vermelho). A ressonância pedagógica está visualmente destacada em azul.
Fonte: adaptada de Hay, Kinchin e Lygo-Baker (2008, p. 307).

1.2 Os mapas conceituais para visualizar as estruturas de conhecimento

Entre várias estratégias adotadas para avaliar os resultados de aprendizagem dos alunos, os mapas conceituais (MC) aparecem como uma alternativa interessante (Correia, Cicuto & Dazzani, 2014;

Henno & Reiska, 2008; Kinchin, Hay, & Adams, 2000; Ruiz-Moreno, Sonzogno, Batista & Batista, 2007; Schmid & Telaro, 1990; Zanoto, Silveira & Sauer, 2016; Correia & Conceição, 2019; Correia, Ballego & Nascimento, 2020; Correia, Nascimento, Ballego, Soares & Moon, 2020).

Os MCs são organizadores gráficos (veja um exemplo na Figura 2) que representam o conhecimento, a partir de uma rede de proposições (Novak, 2010), que por sua vez, contém três elementos: conceito inicial, termo de ligação e conceito final (p.ex. Células-tronco adultas – podem ser retiradas da → medula óssea). De acordo com Ausubel (2000), o conhecimento de um conteúdo específico é organizado em torno de conceitos e proposições, e, conforme descrito na seção anterior, a ocorrência da aprendizagem significativa requer uma estrutura altamente integrada entre esses conceitos. Nesse sentido, o MC aparece como uma estratégia capaz de tornar visível a estrutura de conhecimento dos estudantes e, portanto, uma potencial ferramenta de avaliação.

Shavelson, Ruiz-Primo e Wiley (2005) argumentam que os MCs mostram a estrutura do conhecimento declarativo (fatos, definições, descrições, conceitos) dos alunos e servem como instrumento para a elaboração de devolutivas sobre o processo de ensino-aprendizagem, tanto para o professor como para os alunos. Por outro lado, em trabalho anterior, Ruiz-primo e Shavelson (1996) chamam a atenção para a falta de rigor referente à elaboração da tarefa avaliativa bem como a validade e confiabilidade do sistema de pontuação adotado. Para esses autores, a avaliação da aprendizagem usando MC deve conter:

(1) Uma tarefa que revele evidências sobre o conhecimento do aluno num determinado conteúdo;
(2) Um formato bem definido de como o aluno deve responder à tarefa;
(3) Um sistema de pontuação na qual o aluno possa ser avaliado de forma precisa e consistente.

Já em McClure, Sonak e Suen (1999), os autores apresentam três problemáticas que podem impedir a plena adoção dos MCs como ferramenta de avalição em sala de aula, sendo todas elas relativas ao tempo necessário para:

(1) O treinamento dos alunos na técnica de mapeamento conceitual;
(2) A elaboração do MC como parte da tarefa de avaliação propriamente dita;
(3) A correção dos MCs pelo professor.

É importante notar que os problemas apontados acima estão intimamente relacionados ao fato de o aluno ser o mapeador. Caso o professor opte por esse tipo de tarefa de avaliação, é necessário que haja um treinamento prévio na técnica para que os MCs produzidos sejam fiéis a estrutura de conhecimento do aluno, requerendo um tempo de sala de aula que o professor pode não ter disponível (Aguiar, Cicuto & Correia, 2014). Adicionalmente, é preciso lembrar que a elaboração de

bons MCs, fidedignos ao conhecimento a ser representado exige tempo (cerca de 1 hora na experiência dos autores), uma vez que requer a seleção e organização dos conceitos, a conexão entre esses conceitos a partir da escolha de verbos adequados que explicitem essa relação, além da revisão da rede proposicional considerando a adequação à pergunta focal (Aguiar & Correia, 2017). Por fim, a correção dos MCs dos alunos também exigirá um considerável tempo extraclasse do professor, pois requer uma leitura cuidadosa da rede proposicional à procura de incorreções conceituais. Esse processo de correção é feito mapa a mapa, sem a existência de um parâmetro fixo (gabarito) que auxilie o professor nessa correção. Por tudo isso, há espaço na literatura para a formulação de novas metodologias de avaliação usando MC que considerem o professor como o mapeador.

O objetivo desse trabalho é avaliar uma tarefa voltada à avaliação da aprendizagem utilizando um MC elaborado pelo professor, que inclui erros conceituais intencionalmente para avaliar o conhecimento declarativo dos alunos sobre “Biologia molecular e bioética”. A nossa hipótese é de que a tarefa de avaliação baseada no MC com erros solucionará as questões de praticidade apontadas em McClure, Sonak e Suen (1999), mantendo as características e o rigor discutidos por Ruiz-Primo e Shavelson (1996).

2. PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

2.1 Contexto de pesquisa

A pesquisa foi conduzida no primeiro semestre de 2016, durante a avaliação formal da disciplina Ciências da Natureza, ministrada aos alunos ingressantes na Universidade de São Paulo. Essa disciplina oferece uma visão abrangente sobre o impacto do desenvolvimento científico-tecnológico na sociedade contemporânea, com o objetivo de aumentar a alfabetização científica dos participantes (Araújo & Formenton, 2012; Auler, 2007; Correia, Vale, Dazzani, & Infante-Malachias, 2010; Bybee, & Fuchs, 2006; Dehaan, 2005; Donnelly, 2004; Holbrook & Rannikmae, 2007; Santos, 2007).

A disciplina se organiza em 15 aulas, divididas em três blocos temáticos: “História da Astronomia e o Nascimento da Ciência Moderna”, “Mudanças climáticas” e “Biologia molecular e bioética”. Cada bloco tem 4 aulas de 100 minutos e uma avaliação formal que inclui um momento de avaliação utilizando MC. Todos os alunos que participaram da disciplina (n = 59) passaram por um rápido treinamento para compreender como se faz a leitura dos MCs com erros e como se responde ao exercício. Os resultados apresentados neste artigo se referem à avaliação sobre o bloco temático “Biologia molecular e bioética”.

2.2 Materiais e procedimentos de coleta de dados

O MC utilizado na avaliação (Figura 2) foi elaborado pelo professor utilizando o programa CmapTools (IHMC, Pensacola, FL, EUA). Ele considerou os conteúdos abordados em sala de aula e os materiais de estudo que complementaram as discussões (textos e vídeos listados a seguir). A dinâmica de trabalho da disciplina se baseou na sala de aula invertida (Reidsema, Kavanagh, Hadgraft & Smith (2017) e previa uma leitura preparatória à aula presencial. As aulas começavam com uma exposição dialogada sobre os principais pontos do texto e, eventualmente, trechos de um vídeo/documentário eram apresentados como forma de complementar esses pontos. Os minutos finais da aula eram destinados a discussões em pequenos grupos sobre um assunto polêmico (p.ex. usar informações genéticas para fazer prognósticos sobre doenças incuráveis). O objetivo e os materiais usados em cada aula foram:

- **Aula 1** - Comparar o evolucionismo e o criacionismo sob o ponto de vista conceitual.
  Texto “Explicando o muito improvável”, de Richard Dawkins (Dawkins, 2005a).
- **Aula 2** - Apresentar as polêmicas envolvendo pesquisas com clonagem e células-tronco.
  Texto “Clonagem e células-tronco”, de Mayana Zatz (Zatz, 2004).
- **Aula 3** - Discutir os avanços da biologia molecular e seus desdobramentos éticos (1).
  Texto: “Memorando para Tony Blair”, de Richard Dawkins (Dawkins, 2005b).
  Vídeo: Mayana Zatz no programa Provocações (Partes 1, 2 e 3).
- **Aula 4** - Discutir os avanços da biologia molecular e seus desdobramentos éticos (2).
  Vídeo: Documentário “DNA - a promessa e o preço”.

O MC com erro, instrumento de coleta de dados desta pesquisa, foi elaborado pelo professor seguindo o procedimento descrito a seguir. Considerando os elementos centrais dos bons MCs (Aguiar & Correia, 2013), o professor pode garantir a melhor representação possível do conhecimento abordado nesta parte da disciplina:

- Revisão dos textos e vídeos utilizados como material de estudo, bem como das anotações feitas em sala de aula.
- Listagem dos conceitos mais importantes de cada aula.
- Organização hierárquica dos conceitos, - dos mais gerais para os mais específicos.
- Estabelecimento das proposições com alto grau de clareza semântica e correção conceitual.

- Revisão da rede proposicional à procura de imprecisões semânticas e conceituais, pelo menos 1 dia após a criação das proposições.
- Definição da pergunta focal respondida pelo MC.
- Seleção das proposições a serem modificadas para torná-las incorretas do ponto de vista científico.

O resultado foi um MC que responde à pergunta focal: *Como a biologia molecular pode afetar a vida dos seres humanos?* contendo 26 conceitos e 32 proposições, sendo 22 delas corretas e 10 incorretas (5, 6, 10, 13, 18, 23, 25, 26, 29, 31, marcadas em cinza na Figura 2).

Esse MC com erros foi impresso na frente de uma folha A4 juntamente às instruções para condução da tarefa: identifique os erros existentes no MC e explique os erros localizados. No verso da folha, foi adicionada uma tabela para que os alunos indicassem o número das proposições incorretas e seus comentários sobre os erros. A coleta de dados ocorreu em sala de aula, individualmente, e os alunos tinham até 20 minutos para encontrar e comentar os erros.

2.3 Sistema de pontuação da avaliação e procedimentos de análise de dados

A correção do professor utilizou o sistema de pontuação apresentado na Tabela 1, convertido em uma nota entre 0 e 10. A pontuação foi atribuída aos alunos considerando duas instâncias de análise: a identificação do erro (1ª instância) e as explicações sobre os erros localizados (2ª instância). A identificação do erro em uma proposição correta implicou na atribuição de -1 ponto (IEP) e os comentários feitos pelo aluno não foram analisados. A não identificação do erro implicou em pontuação zero (NIE) enquanto a sua identificação implicou na atribuição de +1 ponto. Nesses casos, os comentários dos alunos foram analisados considerando a qualidade dos comentários feitos (2ª instância de análise).

Tabela 1
Pontuação parcial e total atribuída aos alunos considerando a identificação dos erros (1ª instância) e os comentários sobre os erros identificados (2ª instancia).

	1ª instância de análise		2ª instância de análise		Pontuação total
Categorias*	Identificação do erro	Pontuação	Comentário sobre o erro	Pontuação	
IEP	Em uma proposição correta	-1	-	-	-1
NIE	Não identificou o erro	0	-	-	0
INC	Identificou o erro	+1	Não há	0	+1
ICI			Incorreto	+1	+2
ICP			Parcialmente pertinente	+2	+3
ICT			Totalmente pertinente	+3	+4

Nota: *IEP: Identificou o Erro numa Proposição correta; NIE: Não Identificou o Erro; INC: Identificou o erro e Não Comentou; ICI: Identificou o erro e fez um Comentário Impertinente; ICP: Identificou o erro e fez um Comentário Parcialmente pertinente; ITC: Identificou o erro e fez um Comentário Totalmente pertinente. Fonte: elaborada pelos autores.

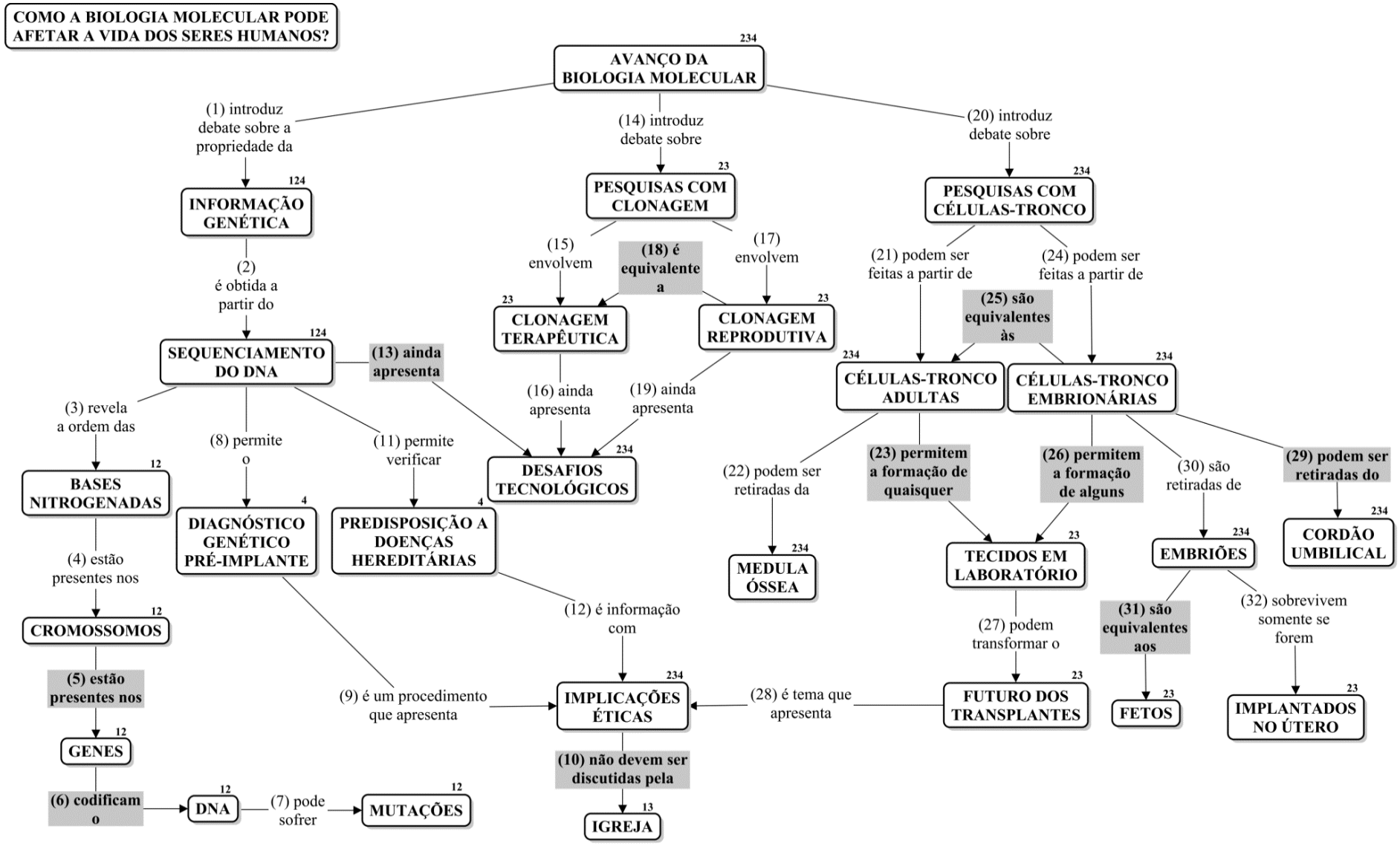

Figura 2 – MC com erros (em cinza) utilizado como instrumento de coleta de dados. Os alunos deveriam identificar os erros e fazer comentários sobre os erros localizados. Os conceitos foram discutidos nas aulas indicadas acima das caixinhas (p.ex., “13” significa “aulas 1 e 3”).
Fonte: elaborada pelos autores.

A ausência de comentário (INC) não gerou pontuação adicional e o aluno permaneceu com +1 anteriormente atribuído. Se o comentário feito pelo aluno foi impertinente (ICI), o aluno recebe +1 ponto pois ele tentou articular uma explicação permitindo ao professor formular uma devolutiva para auxiliá-lo no processo de aprendizagem. Se o aluno fez um comentário parcialmente (ICP) ou totalmente pertinente (ICT) do ponto de vista científico, foram atribuídas pontuações adicionais de +2 e +3, respectivamente.

Observe o exemplo abaixo que ilustra a avaliação dos comentários feitos por um aluno sobre a proposição 31 do MC Embriões – são equivalentes a → fetos:

- Comentário impertinente (ICI): “Fetos se transformam em embriões ao longo do desenvolvimento”. Pontuação total = +2.
- Comentário parcialmente pertinente (ICP): “Embriões não são equivalentes a fetos”, apenas negando a afirmação do MC sem dar nenhum tipo de explicação adicional. Pontuação total = +3.
- Comentário totalmente pertinente (ICT): “Embriões são chamados de fetos quando todos os órgãos são formados”. Pontuação total = +4.

Duas análises de dados foram conduzidas sequencialmente a partir da pontuação das respostas dos alunos. A primeira análise caracterizou o nível de dificuldade dos erros inseridos no MC, considerando a frequência das categorias descritas na Tabela 1 para cada erro. A segunda análise descreveu, em detalhes, o desempenho dos alunos considerando suas respostas frente aos erros fáceis, intermediários e difíceis. Essas análises utilizaram métodos estatísticos (Field, 2009) univariados de comparação de média (Qui-quadrado) conduzidos com o auxílio do programa IBM SPSS versão 22.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, EUA). Também foi utilizada a Análise Hierárquica de Agrupamentos (AHA), que consiste em uma abordagem multivariada de caráter exploratório (Field, 2009), cujo principal propósito é reunir objetos por sua similaridade em função das variáveis analisadas. Os cálculos foram realizados com o auxílio do programa Pirouette versão 4.5 (Infometrix inc., Bothell, WA, EUA), considerando a distância Euclidiana e o método *Ward/Incremental* de iteração.

2.4 Análise do nível de dificuldade dos erros

Uma matriz 10X5 foi elaborada para analisar o nível de dificuldade dos erros inseridos no MC. A AHA buscou agrupar as dez proposições com erro (objetos) a partir da similaridade com a qual esses erros foram identificados e comentados pelos alunos, ou seja, considerando a frequência das cinco categorias NIE, INC, ICI, ICP, ICT (variáveis). O resultado obtido permitiu identificar quatro agrupamentos naturais com 79% de similaridade (chamados aqui de grupos A, B, C, D). Em seguida, a média da frequência dos erros para cada grupo foram comparadas entre si para caracterizar o tipo de categoria de erros contidos nesses grupos. Por exemplo, se o grupo B

apresenta 5% de categorias NIE isso evidencia que os erros são de fácil identificação, pois, 95% dos alunos encontraram o erro. Se esse mesmo grupo contiver 10% de categorias ICT, isso evidencia que, dentre aqueles que encontraram o erro, eles dificilmente fizeram comentários pertinentes sobre o mesmo. Consequentemente, este grupo seria classificado nas suas duas instâncias de análise como Fácil/Difícil.

2.5 Análise do desempenho dos alunos

Uma matriz 59X4 foi elaborada para analisar o desempenho dos alunos, a partir do nível de dificuldade dos erros inseridos no MC (A, B, C, D, anteriormente categorizado). Dessa vez a AHA buscou agrupar os alunos (objetos) a partir da similaridade em suas notas parciais (descrita em detalhes a seguir) obtidas para cada um dos quatro agrupamentos naturais A-D (variáveis). O resultado obtido permitiu diferenciar quatro grupos de alunos com 70% de similaridade (chamados aqui de grupos W, X, Y, Z).

A Equação 1 indica a forma pela qual a nota parcial de cada aluno foi calculada. Ela é uma nota ponderada (pelo nível de dificuldade dos erros apontados) e ao mesmo tempo relativa (em função da nota máxima possível dentro do agrupamento), que traduz o desempenho do aluno considerando a identificação do erro e a qualidade dos comentários sobre os erros identificados, de acordo com os agrupamentos A-D.

$$Nota\ parcial_{(A-D)} = \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^{10} erro_i\ x\ categoria}{Nº\ de\ erros_{A-D}\ x\ 4}\right)\right] \qquad (Equação\ 1)$$

A Equação 2 indica como a nota final do aluno foi calculada, considerando o somatório das notas parciais menos as identificações do erro nas proposições corretas (IEP). A penalização na nota final também é ponderada pela probabilidade de ocorrência de uma falsa identificação considerando a existência de 22 proposições corretas no MC.

$$Nota\ final = \left(\sum_{j=A}^{D} nota\ parcial_j\right) - \frac{\sum_{k=1}^{22} IEP}{22} \qquad (Equação\ 2)$$

Observe o exemplo do caso de um aluno que tenha identificado e comentado parcialmente 2 dos 3 erros contidos no agrupamento B. Neste caso, teríamos 2 erros categorizados como ICP, ou seja, 2 x 3 = 6 (numerador). A pontuação máxima do agrupamento B corresponde aos três erros totais multiplicados pela nota máxima da categoria (+4), ou seja, 3 x 4 = 12 (denominador). Dividindo o numerador pelo denominador, temos um resultado de 6/12 = 0,50. Portanto, a nota parcial para este aluno considerando este grupo será 5,00 na escala de 0 a 10. Repete-se o mesmo procedimento

para os demais agrupamentos A-D. Se a nota parcial desse aluno for igual a 7,00, por exemplo, e ele identificou um erro numa proposição correta (IEP), uma penalização de -1/22 (-0,05) é aplicada, ficando com uma nota final de 6,95. Para descrever o desempenho dos alunos pertencentes aos grupos W, X, Y, Z, foram calculados as médias e os desvios-padrão das notas parciais e finais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Considerações sobre as questões de praticidade do MC com erros

As questões de praticidade apontadas por em McClure, Sonak e Suen (1999), foram minimizadas com o uso do MC com erros para avaliar o entendimento conceitual dos alunos. O professor da disciplina já conhecia a técnica de mapeamento conceitual e, por usar frequentemente esta ferramenta, demorou cerca de duas horas para elaborar o MC e inserir os erros conceituais (Figura 2). Os alunos demoraram, em média, 14 minutos (desvio-padrão 5 minutos) para completar a tarefa, ou seja, 70% do tempo máximo estabelecido. Isso permitiu ao professor utilizar a tarefa baseada em MC com erros combinada com exercícios dissertativos para compor a avaliação formal da disciplina sem extrapolar os 100 minutos máximos. O tempo total de correção das tarefas baseadas em MC com erros (*n* = 59) foi de aproximadamente 3 horas, ou seja, um tempo médio de correção de 3 minutos/aluno. Estes resultados trazem evidências de que o uso da tarefa baseada em MC com erro é compatível com a rotina típica dos professores, visto que ela é mais prática do que as tarefas que colocam o aluno na condição de elaborador do MC. A Tabela 2 apresenta uma comparação da praticidade do mapeamento conceitual em sala de aula, quando o professor ou os alunos atuam como mapeadores.

Tabela 2
Comparação das questões de praticidade do uso do mapeamento conceitual em sala de aula considerando alunos e professores como mapeadores.

Questões de praticidade	Alunos como mapeadores	Professor como mapeador
Tempo para treinamento na técnica de mapeamento	**Alto** Os MCs somente refletem a estrutura de conhecimento dos alunos se eles dominarem a técnica de mapeamento. O tempo necessário para o treinamento pode comprometer parte do conteúdo programático da disciplina.	**Baixo** Somente o professor precisa estar treinado para elaborar bons MCs e isso não compromete o conteúdo programático da disciplina. Treinar os alunos para ler MCs é mais rápido e intuitivo, podendo ser alocado nos tempos de aulas.
Tempo para completar a tarefa avaliativa	**Alto** A elaboração de bons MCs requer tempo para selecionar, organizar, relacionar e revisar os conceitos e a rede proposicional. Além disso, sem uma demanda clara e bem definida a elaboração pode se tornar inviável no tempo de aula.	**Baixo** O professor pode preparar os MCs previamente e adicionar alguns erros conceituais. Os alunos precisam apenas ler, verificar a correção conceitual e justificar o erro presente nas proposições. Um mesmo MC pode ser utilizado várias vezes, alterando-se a quantidade e o tipo de erros.
Tempo para corrigir a atividade avaliativa	**Alto** A leitura dos MCs na busca por incorreções cometidas pelos alunos deve ser feita de modo individualizado, não havendo um parâmetro fixo de referência. Com isto, há um aumento no tempo de correção e de *feedback* durante a etapa avaliação.	**Baixo** O professor pode utilizar como referência os erros por ele mesmo planejado e adicionados ao MC, otimizando o tempo de correção e permitindo um *feedback* mais rápido aos alunos.

Fonte: elaborada pelos autores.

3.2 Análise do nível de dificuldade dos erros adicionados ao MC

A aplicação da AHA, considerando a frequência observada para as categorias NIE, INC, ICI, ICP e ICT, gerou um dendrograma que permitiu a formação de quatro agrupamentos naturais (A-D) com 79% de similaridade. Os erros incluídos pelo professor nas proposições (P) do MC foram agrupados da seguinte maneira: P18, P25 e P31 (grupo A), P23 e P26 (grupo B), P10 (grupo C) e P5, P6, P13 e P29 (grupo D). A porcentagem de erros identificados pelos alunos e a análise sobre os comentários feitos estão apresentados na Tabela 3.

As análises de qui-quadrado indicam que os grupos formados apresentam frequências estatisticamente muito diferentes $\chi^2(6) = 334{,}6$ $p < 0{,}001$. Os grupos também diferem quando comparamos a frequência de identificação dos erros (IE) $\chi^2(3) = 168{,}3$ $p < 0{,}001$, bem como dos comentários parcialmente pertinentes (ICP) $\chi^2(3) = 9{,}23$ $p < 0{,}05$ e, totalmente pertinentes (ICT) $\chi^2(3) = 156{,}6$, $p < 0{,}001$.

A caracterização e diferenciação dos grupos foi feita em função da média observada para essas categorias conforme mostrado no gráfico de barras da Figura 3. Considerando os índices de IE é possível perceber que o grupo D apresenta um valor muito abaixo da média, contendo, portanto, erros de difícil identificação. Já o grupo C apresenta esse índice muito acima da média, indicando um erro de fácil identificação. Os grupos A e B estão próximos da média, contendo assim erros de dificuldade intermediária.

Tabela 3
Frequência de identificação dos erros e tipo de comentários feitos sobre os erros localizados em cada grupo (A-D). Cada grupo foi caracterizado segundo um nível de dificuldade.

Grupo	Proposição	Identificação do erro	Análise do comentário feito sobre o erro identificado				Nível de dificuldade
		IEb (100% - NIE)	INC	ICI	ICP	ICT	
A	18, 25, 31	64%	1%	7%	73%	19%	Médio / Médio
B	23, 26	49%	2%	2%	14%	83%	Médio / Fácil
C	10	81%	2%	0%	6%	92%	Fácil / Fácil
D	5, 6, 13, 29	14%	6%	9%	9%	76%	Difícil / Fácil

Nota. [a]O nível de dificuldade considera as duas instâncias de análise: identificação e comentário. [b]Frequência de alunos que identificaram o erro (IE) é dada pela população (100%) menos os que não identificaram o erro (NIE). Fonte: elaborada pelos autores.

A análise do nível de dificuldade exigido para os comentários foi feita a partir das médias de ICP e ICT. Os grupos B, C e D apresentam valores de ICT bem acima da média e, portanto, contém erros fáceis de serem corrigidos sob o ponto de vista científico. Por outro lado, o grupo A apresenta valor acima da média para ICP e abaixo da média para ICT, sugerindo que esses erros são mais difíceis de serem comentados pelos alunos.

O erro da proposição 10 (grupo C) foi o mais facilmente identificado e comentado pelos alunos. A proposição *Implicações éticas – não devem ser discutidas pela → Igreja* pareceu ingênua para os

alunos da disciplina. Possivelmente, as discussões sobre o papel da sociedade na decisão sobre o desenvolvimento de pesquisas que envolvem células-tronco e clonagem foram suficientes para garantir a compreensão dos alunos sobre o fato de que a Igreja, como parte integrante da sociedade, se posiciona nesse debate que não fica restrito aos cientistas.

As proposições 23 e 26 (grupo B) exploram os tipos de tecidos que podem ser gerados a partir das células-tronco adultas e embrionárias. O aluno deveria distinguir as células-tronco embrionárias (podem gerar quaisquer tecidos em laboratório) das células-tronco adultas (geram alguns tecidos em laboratório). Esse fato justificou a diminuição no índice de IE e ICP, em comparação com a proposição 10 (grupo C). Muitos alunos fizeram comentários sugerindo a inversão das setas nas proposições 23 e 26, o que as torna conceitualmente corretas (*Células-tronco adultas – permitem a formação de alguns → tecidos em laboratório* e *Células-tronco embrionárias – permitem a formação de quaisquer → tecidos em laboratório*).

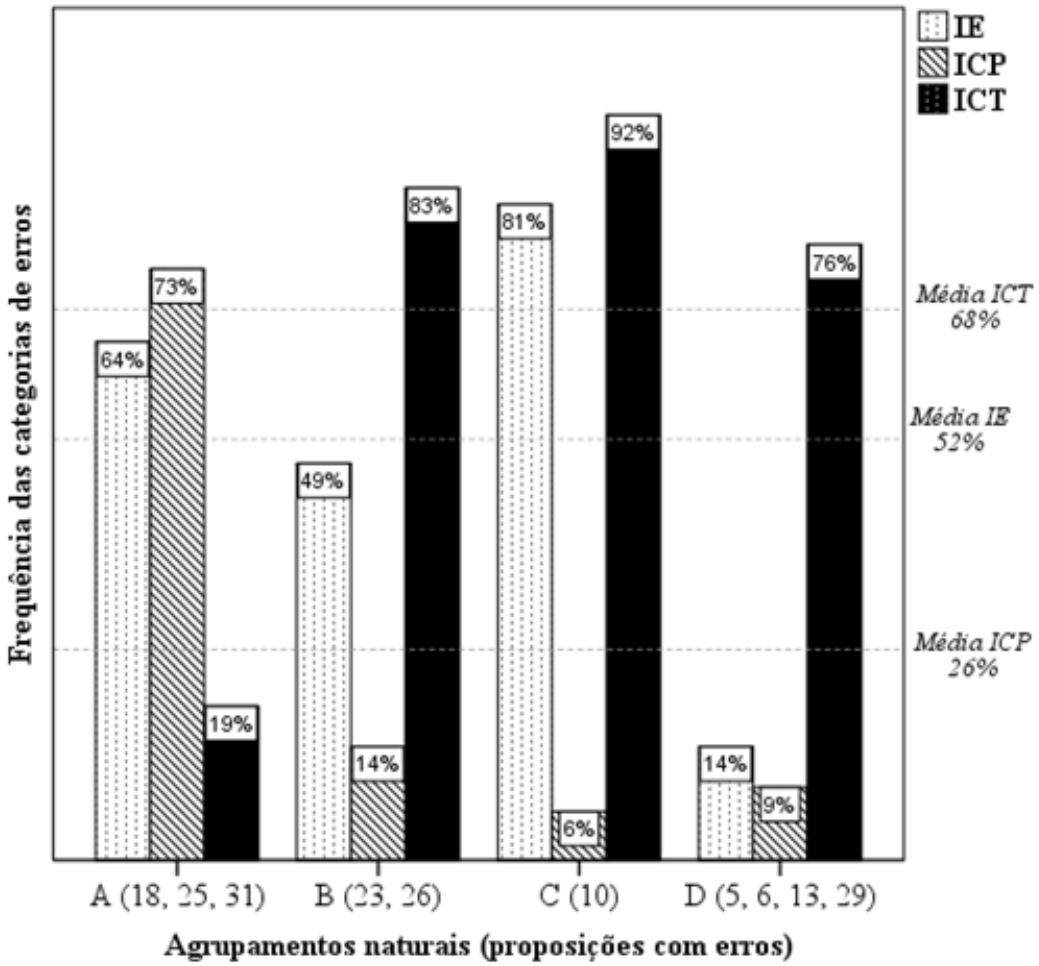

Figura 3 – Frequência, em porcentagem, das categorias de identificação (IE) e comentário (ICP, ICT) dos erros distribuídos nos agrupamentos naturais A-D.
Fonte: elaborada pelos autores.

As três proposições do grupo A (18, 25 e 31) apresentam o mesmo termo de ligação “é equivalente à” e, portanto, exigiram que o aluno fosse capaz de lembrar a definição dos conceitos clonagem, células-tronco, embriões e fetos. A partir deles, era preciso distinguir os tipos de clonagem (terapêutica vs. reprodutiva), os tipos de células-tronco (embrionárias vs. adultas) e os embriões dos fetos. Diferente do grupo anterior, a explicação das diferenças não estava contida nas próprias proposições e os alunos tiveram maior dificuldade para elaborar seus comentários. Por isso, as proposições do grupo A contém erros mais difíceis do que as proposições do grupo B.

As proposições 5, 6, 13 e 29 (grupo D) foram as mais exigentes do ponto de vista cognitivo. A identificação do erro dependia da capacidade do aluno em julgar corretamente uma relação conceitual, a partir de uma avaliação de critérios específicos. Por exemplo, para que os alunos explicassem porque ambas as proposições P5 *Cromossomos – estão presentes nos → Genes* e P6 *Genes – codificam o → DNA* estavam incorretas, os alunos precisavam lembrar das estruturas celulares, das suas constituições bem como avaliar os seus respectivos papéis. Cabe destacar que os conceitos estão relacionados com tópicos da Biologia previstos no currículo do Ensino Médio. A dificuldade em identificar os erros nestas proposições indica a maior complexidade de conteúdos vinculados com entidades e processos submicroscópicos e/ou a ausência do estudo desses conteúdos nessa etapa da educação básica.

Esse grupo de proposições contém obstáculos de aprendizagem que podem ser fruto de concepções alternativas desenvolvidas pelos alunos em ambientes não escolares. A proposição P29 *Células-tronco embrionárias – podem ser retiradas do → cordão umbilical* revela uma confusão frequentemente estabelecida por quem não se aproximou desse tema (somente células-tronco adultas podem ser retiradas do cordão umbilical). Vale destacar que as discussões realizadas na disciplina falharam em prover discussões profundas o suficiente para modificar tal senso comum uma vez que poucos alunos identificaram esse erro conceitual. Por isso, é muito importante identificar como estão as estruturas de conhecimento do aluno. A partir dessa análise, o professor pode atuar de forma individualizada e personalizada com devolutivas que estimulam a superação dos obstáculos de aprendizagem.

3.3 Análise do desempenho dos alunos

A aplicação da AHA para reunir os alunos de acordo com as notas parciais para os grupos A-D gerou um dendrograma que permitiu a formação de quatro agrupamentos naturais com 70% de similaridade, chamados aqui de W, X, Y, Z.

A Tabela 4 reúne a média das notas parciais e finais dos alunos agrupados de W-Z. O cruzamento do nível de dificuldade dos erros contidos nos grupos de A-D e a média das notas obtidas pelos alunos permitem uma detalhada descrição dos seus desempenhos. As análises de variância de fator único (ANOVA *one-way*) indicam que os alunos apresentam desempenhos estatisticamente

diferentes em todas as notas parciais e na nota final (ver valores de *F* na Tabela 4, todos com $p < 0,001$).

Considerando a média final de todos os alunos, independente de seus grupos, é possível perceber que eles tiveram um desempenho relativamente baixo na tarefa (*M* = 4,22, *DP* = 1,42). Sucessivos testes-t independente para comparar a média da nota final dos grupos nos permite inferir que o grupo W teve o pior desempenho de todos, seguido por X, depois o grupo Z e, por fim, o grupo Y que apresentou o melhor desempenho de todos. Um olhar mais atento às notas parciais deixa claro suas principais diferenças e nos auxiliam a compreender o perfil dos alunos contidos em cada grupo:

- Os 18 alunos do grupo W apresentam um baixo desempenho em identificar e comentar todos os erros presentes no MC.
- Os 14 alunos do grupo X não tiveram problemas em identificar e comentar os erros considerados de dificuldade média (grupos B e A), mas falharam na identificação/comentário aos erros mais fáceis e difíceis.
- Os 14 alunos dos grupos Z tiveram alto desempenho para identificar e comentar os erros fáceis e difíceis, porém, tiveram dificuldade com os erros intermediários.
- Os 13 alunos do grupo Y tiveram alto desempenho na tarefa como um todo.

Tabela 4
Médias (desvios-padrão) das notas parciais e finais dos alunos de cada grupo W-Z em função do nível de dificuldade dos erros presentes nos grupos de A-D.

Grupo de alunos	Notas parciais nos grupos de proposições				Nota final
	Grupo C Fácil/Fácil	Grupo B Médio/Fácil	Grupo A Médio/Médio	Grupo D Difícil/Fácil	
W (*n* = 18)	1,85 (1,77)	2,27 (1,24)	2,45 (1,84)	2,96 (2,06)	2,38 (1,02)
X (*n* = 14)	3,39 (1,20)	5,66 (1,09)	6,61 (1,28)	3,27 (1,83)	4,73 (0,74)
Y (*n* = 13)	7,44 (1,97)	8,46 (0,82)	8,40 (0,93)	7,76 (2,51)	8,01 (1,08)
Z (*n* = 14)	8,10 (1,15)	5,18 (1,09)	3,33 (1,63)	9,82 (0,48)	6,61 (0,73)
F	50,48**	82,99**	57,36**	48,02**	110,50**

Nota: ** as médias diferem estatisticamente com $p < 0,001$ (99% de confiança). Fonte: elaborada pelos autores.

Essas informações são valiosas para o professor, que pode elaborar devolutivas personalizadas aos alunos, de acordo com as dificuldades verificadas para cada grupo. Desta forma, alunos do grupo W serão estimulados a rever todo o conteúdo das aulas, enquanto os alunos do grupo Z poderão se concentrar nos materiais que abordaram os erros intermediários (grupos A e B). Além disso, o professor pode planejar a montagem de grupos de alunos para estabelecer uma discussão das proposições com erros na aula seguinte à aplicação da tarefa. Nesta situação, os alunos com pior desempenho (grupo W) se beneficiarão das interações com alunos dos demais grupos, que compreenderam melhor as relações conceituais do conteúdo abordado nessa parte da disciplina. Estudos futuros podem explorar: diferentes formas de pontuação do MC e dos alunos, a validade e as diferenças para conteúdos científicos e não-científicos, a elaboração de materiais

complementares utilizados para a elaboração das devolutivas do professor, a correlação entre esse novo método de avaliação e as formas mais tradicionais como testes de múltipla escolha e questões dissertativas.

4. CONCLUSÃO

A utilização de MC em sala de aula tem privilegiado o aluno como mapeador. Ainda que seja altamente desejável, o tempo necessário para treinar adequadamente os alunos e para corrigir os mapas é incompatível com a rotina dos professores. Essa questão de ordem prática afasta a técnica de mapeamento conceitual do repertório de atividades didáticas a serem consideradas pelos professores. Como consequência, o uso dos MCs é raro e leva a experiências de pouco impacto no processo de ensino-aprendizagem, pois os mapas não são explorados como elementos promotores da mediação entre professor e alunos.

Colocar o professor na condição de mapeador é uma estratégia que soluciona as questões de praticidade descritos na literatura (McClure, Sonak e Suen, 1999). A tarefa de avaliação baseada no MC com erros foi desenvolvida com o objetivo de permitir ao professor utilizar os MCs com os seus alunos, mesmo em condições de pouca disponibilidade de tempo. O treinamento dos alunos se reduz à leitura das proposições e a correção é feita a partir de uma referência estabelecida a priori pelo professor. Isso permite realizar a atividade em poucos minutos, viabilizando a sua utilização durante as aulas de qualquer disciplina. No caso da disciplina Ciências da Natureza, a tarefa usando MC com erro foi incluída como parte das atividades da avaliação formal. Ela foi realizada pelos alunos em menos de 20 minutos, não comprometendo a dinâmica da prova que também incluiu questões dissertativas. A correção da tarefa produziu informações relevantes sobre o nível de dificuldade dos erros conceituais, classificados em “fáceis”, “médios” e “difíceis”, a partir das respostas dos alunos. Além disso, o desempenho dos alunos foi avaliado e quatro padrões distintos foram identificados. Essa informação é valiosa porque permite ao professor formular devolutivas específicas, de acordo com as necessidades de cada grupo de alunos. Como a correção da tarefa é rápida, os comentários podem ser apresentados rapidamente aos alunos, contribuindo para que eles superem os seus obstáculos de aprendizagem. É interessante notar que, nessas condições, o MC com erros foi explorado como elemento mediador entre professor e alunos, restaurando a ressonância pedagógica raramente estabelecida quando os alunos são os mapeadores.

A hipótese de trabalho foi confirmada a partir das evidências empíricas, visto que a tarefa usando MC com erros para avaliação do conhecimento declarativo solucionou as questões de praticidade apontadas em McClure, Sonak e Suen (1999), sem comprometer as características e o rigor discutido por Ruiz-Primo e Shavelson (1996).

REFERÊNCIAS

Aguiar, J. G. & Correia, P. R. M. (2013). Como fazer bons mapas conceituais? Estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(2), pp. 141-157.

Aguiar, J. G. & Correia, P. R. M. (2017). From representing to modelling knowledge: Proposing a two-step training for excellence in concept mapping. *Knowledge Management & E-Learning*, 9(3), pp. 366–379.

Aguiar, J. G., Cicuto, C. A. T. & Correia, P. R. M. (2014). How can we prepare effective concept maps? Training procedures and assessment tools to evaluate mappers' proficiency. *Revista de Educacion de las Ciencias*, 15(1), pp. 12-19.

Araújo, M. S. T. & Formenton, R. (2012). As fontes de energia automotiva abordadas sob o enfoque CTS no ensino médio profissionalizante. *Revista Alexandria*, 5(1), pp. 33-61.

Auler, D. (2007). Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. *Ciência & Ensino*, 1, pp. 1-20.

Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge*: a cognitive view. Dordrechet: Kluwer Academic Publishers.

Bybee, R. W. & Fuchs, B. (2006). Preparing the 21st century workforce: a new reform in science and technology education. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), 349-352.

Correia, P. R. M. & Conceição, A. N. (2019). O que revelam os mapas conceituais dos meus alunos? Avaliando o conhecimento declarativo sobre a evolução do universo. *Ciência & Educação (Online)*, 25(3), pp. 685-704.

Correia, P. R. M., Ballego, R. S. & Nascimento, T. S. (2020). Os professores podem fazer mapas conceituais? Sim, eles devem!. *Revista de Graduação da USP*, 4(1), pp. 29-39.

Correia, P. R. M., Nascimento, T. S., Ballego, R. S., Soares, M. & Moon, B. (2020). Como fazer avaliação diagnóstica dos alunos usando mapas conceituais com erros. *Revista Brasileira de Comunicação Organizacional e Relações Públicas*, 17(32), pp. 118-130.

Correia, P. R. M., Vale, B. X., Dazzani, M. & Infante-Malachias, M. E. (2010). The importance of scientific literacy in fostering education for sustainability: Theoretical considerations and preliminary findings from a Brazilian experience. *Journal of Cleaner Production*, 18(7), pp. 678-685.

Dawkins, R. (2005a). *O relojoeiro cego*: a teoria da evolução contra o desígnio divino. 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras.

Dawkins, R. (2005b). *O capelão do diabo*: ensaios escolhidos. São Paulo: Companhia das Letras.

Dehaan, R. L. (2005). The impending revolution in undergraduate science education. *Journal of Science Education and Technology*, 14(2), pp. 253-269.

Donnelly, J. F. (2004). Humanizing science education. *Science Education*, 88(5), pp. 762-784.

Field, A. (2009). *Descobrindo a Estatística utilizando o SPSS*. São Paulo: Artmed.

Friedman, T. L. (2007). *O Mundo é plano*: uma breve história do século XXI. Rio de Janeiro: Objetiv.

Hay, D., Kinchin, I. & Lygo-Baker, S. (2008). Making learning visible: the role of concept mapping in higher education. *Studies in Higher Education*, 33(3), pp. 295-311.

Henno, I. & Reiska, P. (2008). Using concept mapping as assessment tool in school biology. In *Proceedings of the Third international Conference on Concept Mapping*, Helsinki, Finlândia.

Holbrook, J. & Rannikmae, M. (2007). The nature of science education for enhancing scientific literacy. *International Journal of Science Education*, 29(11), pp. 1347-1362.

Kinchin, I. M., Hay, D. B. & Adams, A. (2000). How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development. *Educational Research*, 42(1), pp. 43-57.

Kinchin, I. M., Lygo-Baker, S. & Hay, D. B. (2008). Universities as centre of non-learning. *Studies in Higher Education*, 33(1), pp. 89-103.

Mcclure, J. R., Sonak, B. & Suen, H. K. (1999). Concept map assessment of classroom learning: Reliability, validity, and logistical practicality. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(4), pp. 475-492.

Novak, J. D. (2010). *Learning, creating, and using knowledge*: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations. Nova Iorque: Routledge.

Reidsema, C., Kavanagh, L., Hadgraft, R. & Smith, N. (2017). *The Flipped Classroom*: Practice and Practices in Higher Education. Singapura: Springer Singapore.

Ruiz-Moreno, L., Sonzogno, M. C., Batista, S. H. S. & Batista, N. A. (2007). Mapa conceitual: ensaiando critérios de análise. *Ciência & Educação*, 13(3), pp. 453-463.

Ruiz-Primo, M. A. & Shavelson, R. J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), pp. 569-600.

Santos, W. L. P. (2007). Scientific literacy: a freirean perspective as a radical view of humanistic science education. *Science Education*, 93(2), pp. 361-382.

Schmid, R. F. & Telaro, G. (1990). Concept Mapping as an Instructional Strategy for High School Biology. *The Journal of Educational Research*, 84(2), pp. 78-85.

Shavelson, R. J., Ruiz-Primo, M. A. & Wiley, E. W. (2005). Windows into the mind. *Higher Education*, 49(4), pp. 413-430.

UNESCO (2005). *Towards Knowledge Societies*: UNESCO World Report. Paris: UNESCO Publishing.

Zanoto, R. L., Silveira, R. M. C. F. & Sauer, E. (2016). Ensino de conceitos químicos em um enfoque CTS a partir de saberes populares. *Ciência & Educação*, 22(3), pp. 727-740.

Zatz, M. (2004). Clonagem e células-tronco. *Estudos Avançados*, 18(51), pp. 247-256.