



POR QUE DEFINIR A PERGUNTA FOCAL DOS MAPAS CONCEITUAIS É IMPORTANTE? A IDENTIFICAÇÃO DE MAPAS SUPERFICIAIS SEM ERROS CONCEITUAIS

Why is defining the focus question of concept maps important? The identification of superficial maps without conceptual errors

Adriano Nardi Conceição [adriano.yanc@usp.br]
*Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências
Universidade de São Paulo
Rua do Matão, 1371, São Paulo, SP, Brasil*

Paulo Rogério Miranda Correia [prmc@usp.br]
*Escola de Artes, Ciências e Humanidades
Universidade de São Paulo
Rua Arlindo Béttio, 1000, São Paulo, SP, Brasil*

Resumo

Os mapas conceituais (MCs) são redes de proposições integradas com o objetivo de responder a uma pergunta focal. Infelizmente, a literatura da área tende a negligenciar o papel da pergunta focal e a identificação de mapas conceituais superficiais, ainda que conceitualmente corretos, não acontece. Nesse trabalho foi conduzida uma análise de agrupamentos a partir do desempenho de estudantes em um questionário contendo itens relacionados aos temas *pensamento científico*, *astronomia clássica* e *astronomia moderna* que permitiu delimitar diferentes níveis de entendimento conceitual. O desempenho dos estudantes de cada grupo foi utilizado para discutir as características dos MCs construídos por eles em uma tarefa avaliativa vinculada a uma disciplina no ensino superior. Os MCs foram analisados a partir da clareza semântica e correção conceitual das proposições e da aderência à pergunta focal proposta. Os estudantes que melhor representaram os seus esquemas conceituais, construíram mapas com grande número de proposições apropriadas e responderam em maior proporção à pergunta focal, foram também aqueles que obtiveram os melhores desempenhos no questionário. A partir dos resultados é possível concluir que a leitura do conteúdo semântico dos MCs revela o entendimento conceitual dos alunos. O papel crítico da pergunta focal deve ser considerado nas atividades envolvendo a construção de mapas conceituais para identificar mapas superficiais sem erros conceituais.

Palavras-Chave: Avaliação; Mapas conceituais; Pergunta focal; Análise semântica.

Abstract

Concept maps (CMs) are propositional networks set up to answer a focus question. Unfortunately, the literature tends to neglect the focus question role, and the identification of superficial conceptual maps, even if conceptually correct, does not happen. In this paper, an analysis of clusters was carried out based on the performance of students in a questionnaire containing items related to the themes of scientific thought, classical astronomy, and modern astronomy to group students according to their levels of conceptual understanding. The performance of students in each group was used to discuss the features of the CMs built during an assessment task in a Higher Education course. The CMs were analyzed based on the semantic clarity and conceptual correction of the propositions and the appropriateness of the content to address the focus question. The students who best represented their conceptual schema, built maps with a large number of appropriate propositions, and answered in a larger proportion to the focus question, were also those who obtained the best performances in the questionnaire. From the results, it is possible to conclude that the reading of the semantic content of the CMs reveals the students' conceptual understanding. The critical role of the focus question should be considered in activities involving the construction of CMs to identify superficial maps without conceptual errors.

Keywords: Assessment; Concept maps; Focal question; Semantic analysis.

MAPAS CONCEITUAIS E A REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Os mapas conceituais (MCs) são frequentemente usados como ferramentas de avaliação (Bauman, 2018; Romero, 2017; Brakoniecki, 2017; McClure, Sonak, & Suen, 1999; Ruiz-Primo & Shavelson, 1996; Toigo & Moreira, 2012). A necessidade de usar proposições (*conceito inicial – termo de ligação → conceito final*) para expressar claramente a relação entre os conceitos torna os MCs uma opção interessante para revelar a estrutura do conhecimento conceitual presente nos modelos mentais idiossincráticos dos alunos (Davies, 2011; Moreira, Greca, & Palmeiro 2002; Novak, 2010). Por esse motivo, os mapas conceituais são poderosas ferramentas para avaliação do conhecimento conceitual (Kinchin, 2016; Salmon & Kelly, 2015; Novak, 2010; Correia, Cabral, & Aguiar, 2016). O entendimento da técnica de mapeamento conceitual demanda tempo e planejamento do professor e esforços do estudante. Dessa forma, antes de propor atividades baseadas na construção de mapas conceituais é importante verificar se os alunos sabem utilizar corretamente esse organizador gráfico. Atividades de treinamento para que iniciantes na técnica se tornem bons mapeadores devem ser utilizadas pelo professor para preparar os seus alunos (Aguiar & Correia, 2013; Correia & Aguiar, 2017).

Tornar visíveis as estruturas de conhecimento permite ao professor caracterizar o entendimento conceitual dos alunos sobre o tema em estudo, bem como acompanhar as alterações que elas sofrem ao longo do processo de ensino-aprendizagem (Kinchin, Hay, & Adams, 2000; Novak, 2010). A presença de um verbo flexionado é particularmente importante na construção das proposições para evidenciar como os alunos estabelecem relações de hierarquia, causalidade, proporcionalidade entre conceitos, que são relevantes no campo do Ensino de Ciências (Moreira *et al.*, 2002; Moreira, 2011). A Figura 1 demonstra a importância do verbo no termo de ligação para explicitar a relação entre dois conceitos.

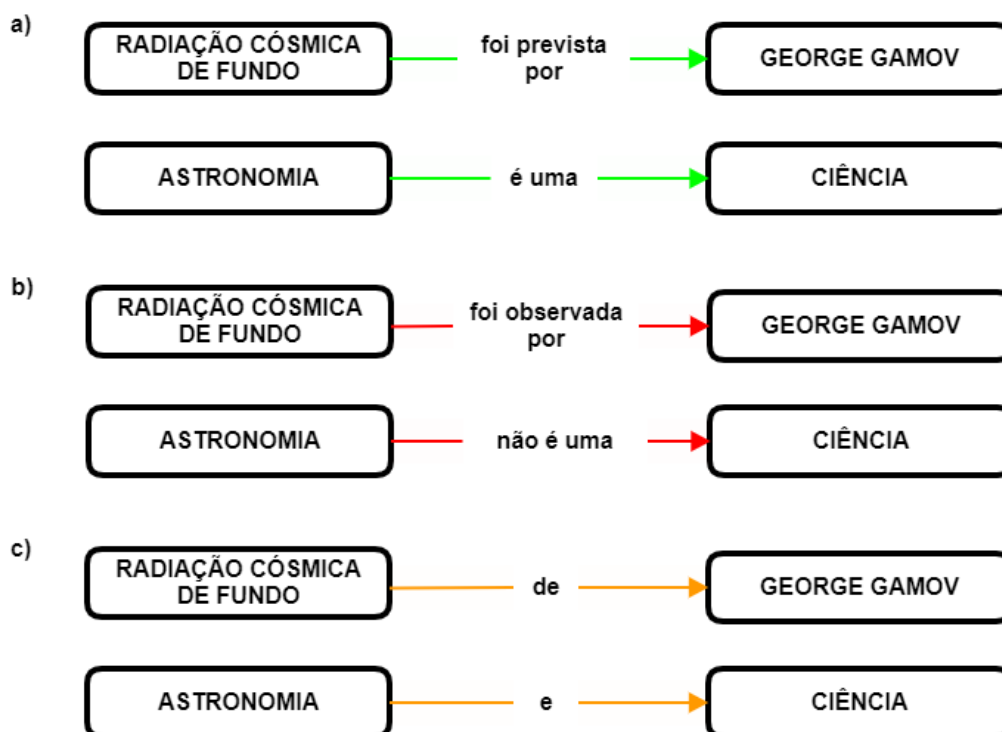


Figura 1 – Importância do uso de um verbo flexionado para evidenciar a relação entre dois conceitos. Verde: proposições claras e corretas; vermelho: proposições claras e incorretas; laranja: associação entre conceitos sem clareza para julgar a correção conceitual. Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 1a é apresentado o efeito do uso de verbos flexionados no termo de ligação. A relação entre os conceitos “*radiação cósmica de fundo*” e “*George Gamov*” está evidenciada pela presença do verbo “*prever*” no termo de ligação. Da mesma forma, “*é uma*” revela a relação entre “*astronomia*” e “*ciência*”. Nesses casos, verifica-se o aumento da clareza semântica das proposições, permitindo ao professor avaliar a correção das relações conceituais. De forma semelhante ocorre na Figura 1b, onde as relações entre os conceitos “*radiação cósmica de fundo*” e “*George Gamov*” e “*astronomia*” e “*ciência*” apresentam suficiente clareza semântica para serem avaliadas no seu conteúdo conceitual e pode ser verificado que há incorreções nas relações construídas. Já na Figura 1c apresentamos duas proposições cujos termos de ligação não contém verbo. As relações entre “*radiação cósmica de fundo*” e “*George Gamov*” e entre “*astronomia*” e “*ciência*”

são meras associações entre conceitos, impedindo a verificação da correção conceitual dessas relações. Esse tipo de relação é construído por alunos que ainda não dominam plenamente o conteúdo conceitual mapeado ou a técnica de mapeamento conceitual.

A IMPORTÂNCIA DA PERGUNTA FOCAL NA AVALIAÇÃO DOS MAPAS CONCEITUAIS

Cañas, Novak e Reiska (2015) indicam que a análise de MCs deve contemplar as dimensões estrutural (organização espacial da rede proposicional) e semântica (conteúdo revelado pelo mapeador). Os aspectos estruturais indicam a proficiência dos alunos na técnica de mapeamento conceitual (Correia & Aguiar, 2017), enquanto a leitura da rede proposicional revela a compreensão que os alunos possuem sobre o tema mapeado. Um trabalho recente mostra como a análise da estrutura pode orientar uma rápida leitura dos MCs para extrair informações relevantes para o trabalho do professor (Correia & Nardi, 2019). A leitura completa do conteúdo semântico dos mapas, considerando todas as proposições, pode revelar informações importantes sobre o entendimento conceitual do mapeador sobre tema representado. Ainda que seja mais demorada do que a análise estrutural, a análise semântica é indispensável no processo de avaliação da aprendizagem.

A análise das proposições e classificação segundo a sua clareza semântica e correção conceitual permite a identificação de estruturas proposicionais limitadas ou inapropriadas (do inglês, *Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies, LIPHs*). Essas estruturas são representadas nos mapas pela ocorrência de proposições incorretas e/ou que apresentam falta de clareza semântica entre os conceitos relacionados pelo termo de ligação. A identificação dessas estruturas é importante para assegurar condições adequadas para a ocorrência da aprendizagem significativa. Segundo Novak (2002), as LIPHs se relacionam com incompletudes e concepções alternativas presentes na estrutura cognitiva. A identificação das LIPHs, a partir das redes proposicionais dos MCs, produz informações valiosas que orientam o professor sobre intervenções que precisam ser feitas durante suas aulas para promover a aprendizagem significativa por toda a sua disciplina.

Um mesmo tema pode dar origem a vários MCs. Por esse motivo, a definição de uma pergunta focal delimita com maior clareza as expectativas daquilo que deve ser representado. Isso ajuda o mapeador a selecionar conceitos e termos de ligação relevantes para respondê-la (Aguiar & Correia, 2013; Cañas, Novak, & Reiska, 2015). A definição da pergunta focal amplia as possibilidades de comparação entre os MCs elaborados pelos alunos, considerando os conteúdos expressos nas redes proposicionais. Não responder à pergunta focal ou tergiversar em torno do tema pode ser uma tentativa de fuga ou simplificação da tarefa de elaboração de mapas conceituais. Tal simplificação pode significar uma dificuldade com a técnica de mapeamento e/ou uma dificuldade com os conceitos relacionados com o tema estudado. A pergunta focal delimita o escopo do MC e permite ao professor verificar a pertinência das relações que os alunos expressam nas proposições entre os conceitos para cumprir com a tarefa avaliativa. Em outras palavras, o professor passa a ter condições de identificar relações conceituais adequadas, a partir do conhecimento de referência, mas que são desnecessárias para responder à pergunta focal. A Figura 2 ilustra um mapa conceitual que explica como esse organizador gráfico pode ser utilizado na avaliação e como ele pode ser avaliado.

A análise desenvolvida nesse trabalho classifica as proposições segundo a clareza semântica identificada no termo de ligação e pela correção conceitual. A partir desses aspectos, é possível estabelecer as seguintes categorias:

- *proposições apropriadas*, que apresentam clareza conceitual e estão conceitualmente corretas,
- *proposições inapropriadas*, que possuem clareza conceitual, mas estão conceitualmente incorretas, e
- *proposições limitadas*, que não apresentam clareza conceitual.

Essas categorias já apareceram na Figura 1a, 1b e 1c, respectivamente. A identificação das proposições *apropriadas* e *inapropriadas* está relacionada com o entendimento conceitual sobre o tema mapeado.

O objetivo desse trabalho foi explorar o uso de uma pergunta focal como elemento que potencializa os mapas conceituais como ferramenta de representação do conhecimento conceitual sobre um tema. Nossa hipótese é que o uso da pergunta focal e a avaliação semântica dos MCs permite ao professor identificar as estruturas proposicionais limitadas ou inapropriadas (LIPHs). Um questionário com itens sobre *pensamento científico*, *astronomia clássica* e *astronomia moderna* foi utilizado para verificar o entendimento conceitual dos alunos no momento da prova. Essa informação serviu para a identificação de grupos de estudantes com desempenho similares e tais grupos foram o ponto de partida para comparar as características dos MCs produzidos.

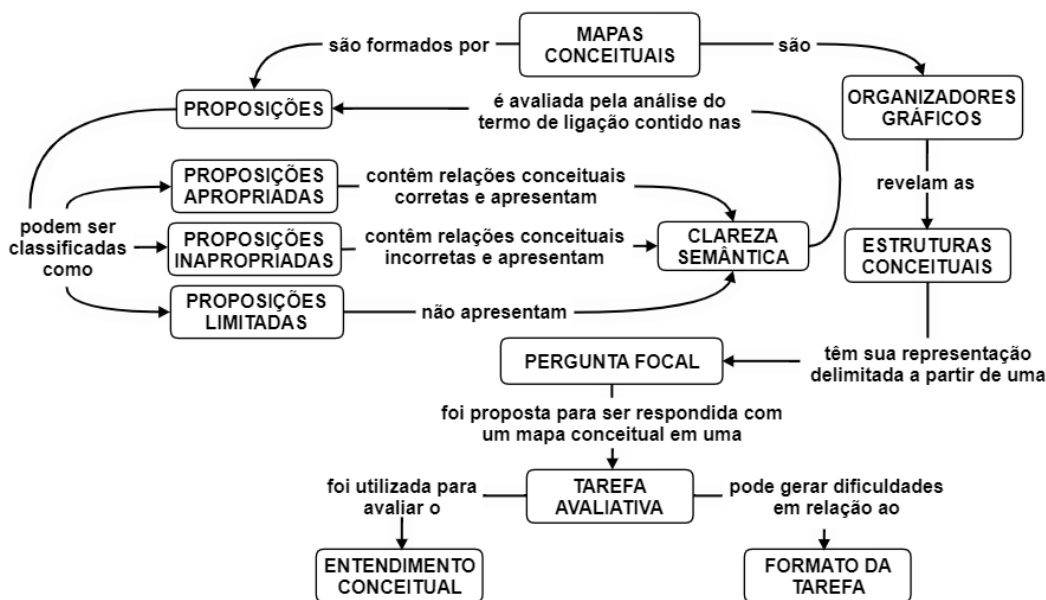


Figura 2 – Mapa conceitual elaborado para responder à pergunta focal “Como fazer uma avaliação com e a partir de um mapa conceitual?”.
Fonte: elaborado pelos autores.

PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

Coleta de dados

A coleta de dados ocorreu durante as aulas 1-5 da disciplina ACH0131 Ciências da Natureza: Ciência, Cultura e Sociedade, oferecida aos alunos ingressantes ($n = 67$, 25 ± 7 anos) da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo (USP), na cidade de São Paulo no 1º semestre de 2013. O objetivo principal da disciplina é apresentar e discutir as inter-relações entre a ciência, a tecnologia, a sociedade e o ambiente valorizando a abordagem CTSA (Bybee & Fuchs, 2006; Correia, do Valle, Dazzani, & Infante-Malachias, 2010; Holbrook & Rannikmae, 2007).

Três blocos temáticos foram desenvolvidos ao longo de 15 aulas de 100 minutos: astronomia e o desenvolvimento da ciência moderna (aulas 1-5); mudanças climáticas e o desafio dos *wicked problems* (aulas 6-10) e avanços da biologia molecular e dilemas bioéticos (aulas 11-15). A aula 5 foi utilizada para realizar a 1ª avaliação formal da disciplina, quando os alunos responderam ao questionário (Q) e elaboraram individualmente o MC.

Mapa conceitual

A Figura 3 apresenta a folha de prova que os alunos receberam com as instruções para a realização da tarefa. Os alunos tiveram 60 minutos para elaborar um mapa com 9 conceitos. A pergunta focal “Como a ciência e a tecnologia influenciaram a compreensão da sociedade sobre o universo?” e o conceito inicial “MAIS TECNOLOGIA” foram indicados pelo professor.

Os alunos puderam escolher livremente os demais conceitos a serem incluídos nos retângulos da folha de prova. Os círculos vermelhos foram reservados para os alunos vincularem os conceitos aos materiais de estudo utilizados durante as aulas 1-4, utilizando as letras A-F. Essa indicação auxiliou o professor a verificar o acionamento dos temas discutidos durante as aulas. Os conceitos marcados com a letra A foram reunidos na categoria *pensamento científico*. Já os conceitos marcados com as letras B-C-D formaram a categoria *astronomia clássica*. Os conceitos marcados com as letras E-F foram incluídos na categoria *astronomia moderna*. A numeração das proposições para indicar o sentido de leitura do MC, instrução [3] da folha de prova, não foi considerada nas análises desenvolvidas nesse trabalho.

PERGUNTA FOCAL & INSTRUÇÕES	
Como a ciência e a tecnologia influenciaram a compreensão da sociedade sobre o universo?	
<p>1 O retângulo pontilhado indica o conceito inicial do MC. 2 “MAIS TECNOLOGIA” deve ser o conceito inicial do seu mapa. 3 Numere as proposições, sugerindo uma sequência de leitura das proposições. 4 Indique a vinculação entre os conceitos e os materiais de estudo utilizando as letras A-F.</p>	
A - “Boas e más razões para acreditar” (Texto, Dawkins)	B - “A Terra imóvel” (Texto, Brody & Brody)
C - “O nascimento da ciência” (Vídeo)	D - “Uma nova astronomia” (Vídeo)
E - “O ovo cósmico” (Texto, Brody & Brody)	F - “O big bang” (Vídeo)

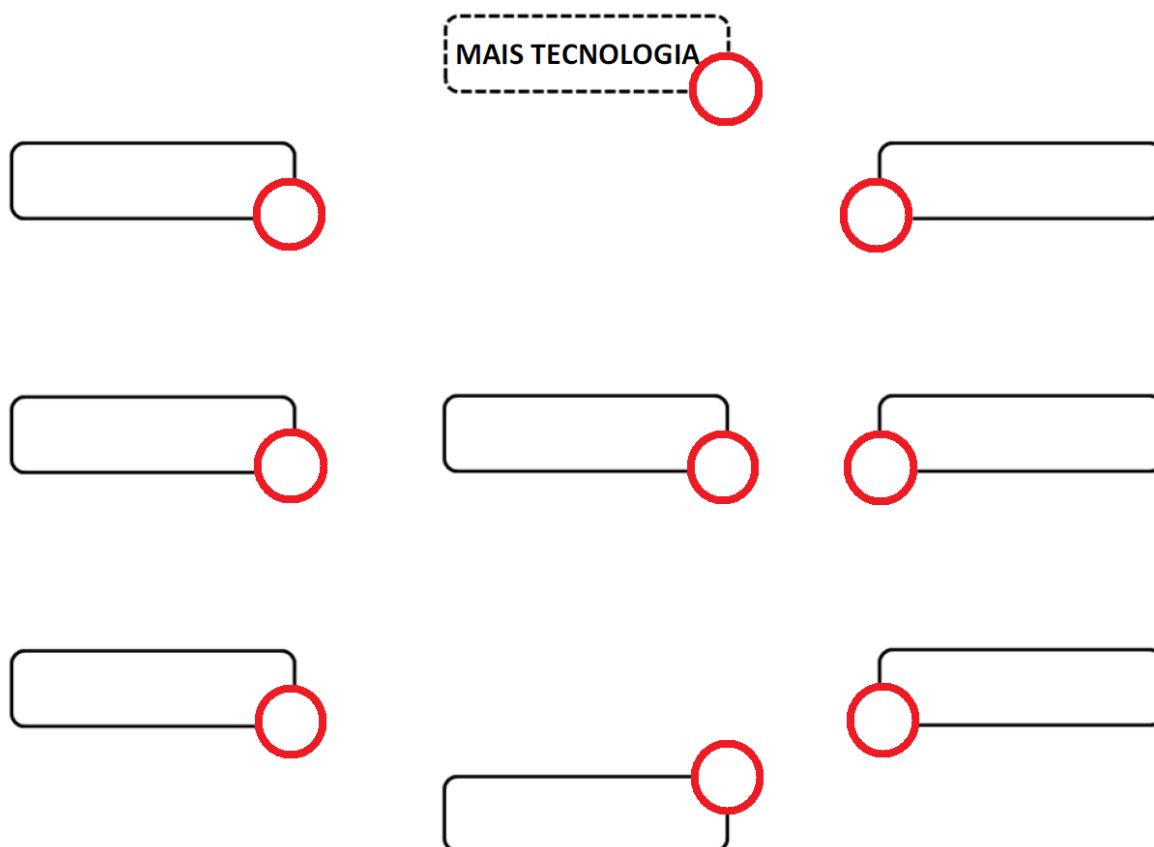


Figura 3 – Folha de prova para a elaboração do mapa conceitual. A pergunta focal e a restrição da quantidade de conceitos ($n = 9$) gera mapas comparáveis entre si, ainda que os alunos tenham total liberdade para criar as proposições. Fonte: elaborado pelos autores.

As aulas 1-4 foram reservadas para discutir os materiais de estudo selecionados pelo professor (Quadro 1) e desenvolver atividades de treinamento na técnica de mapeamento conceitual, de acordo com atividades já descritas na literatura (Aguiar & Correia, 2013). Reiteramos que é importante familiarizar os alunos com utilizando estratégias eficazes de treinamento na técnica de mapeamento conceitual, sem supor que eles já compreendam adequadamente os fundamentos desse organizador gráfico (Aguiar, Cicuto, & Correia, 2014; Correia & Aguiar, 2017; Correia & Nardi, 2019). Essas atividades de treinamento cumprem a intenção de minimizar a dificuldade que os alunos possam ter em relação ao formato da tarefa avaliativa e sejam capazes de estabelecer relações conceituais semanticamente claras e conceitualmente corretas sobre o tema a ser mapeado.

Questionário

Os alunos receberam um questionário com 34 afirmações (alfa de Cronbach = 0,896) sobre o tema astronomia e desenvolvimento da ciência moderna. Três categorias foram propostas para agrupar as afirmações de acordo com o conteúdo abordado.

Quadro 1 – Materiais de estudo utilizados durante o bloco temático sobre astronomia e o desenvolvimento da ciência moderna.

Material de estudo	Foco conceitual	Formato		Aula	Categoria
		Texto	Vídeo		
<i>Boas e más razões para acreditar</i> ¹	Introdução ao pensamento científico	X		2	Cat-I
<i>A Terra imóvel</i> ²	Revolução científica a partir de eventos do século XVI	X		3	Cat-II
<i>O nascimento da ciência</i> ³	Contexto social da época em que ocorre a revolução científica		X	3	Cat-II
<i>Uma nova astronomia</i> ³	Contribuições de Kepler e Brahe para o avanço da Astronomia		X	3	Cat-II
<i>O Ovo Cósmico</i> ²	A evolução da nossa compreensão sobre o universo até os dias atuais	X		4	Cat-III
<i>O Big Bang</i> ³	As relações entre os cientistas e o caso de Ralph Alpher		X	4	Cat-III

¹R. Dawkins, *O Capelão do Diabo*. São Paulo: Companhia das letras, 2005. ²D.E. Brody and A.R. Brody, *As sete maiores descobertas científicas da história e seus autores*. São Paulo: Companhia das letras, 1999. ³Os vídeos estavam disponíveis na Internet. Fonte: elaborado pelos autores

- Cat-I (11 afirmações): pensamento científico, sobre as discussões introdutórias contemplando a Ciência e o método científico.
- Cat-II (13 afirmações): astronomia clássica, sobre a evolução histórica da Astronomia, desde à revolução científica até meados do século XIX, reunindo conteúdos frequentemente discutidos no Ensino Médio.
- Cat-III (10 afirmações): astronomia moderna, sobre as descobertas astronômicas feitas a partir do final do século XIX, reunindo conteúdos raramente discutidos no Ensino Médio.

As afirmações podiam ser conceitualmente corretas ou incorretas, a fim de verificar os conhecimentos declarativos dos alunos.

Exemplos de afirmações corretas

- Cat-I: “Os experimentos servem para buscar evidências sobre hipóteses que estão em teste”.
- Cat-II: “O telescópio foi um instrumento importante para coletar evidências”.
- Cat-III: “Edwin Hubble provou que os aglomerados de galáxias estão se afastando”.

Exemplos de afirmações incorretas

- Cat-I: “As evidências científicas não mudam ao longo do tempo”.
- Cat-II: “As luas de Júpiter eram uma evidência que sustentava o modelo geocêntrico do universo”.
- Cat-III: “Segundo os cientistas, a idade aproximada do universo é de poucos milhares de anos”.

Os alunos deveriam expressar seu julgamento sobre cada afirmação assinalando uma das seguintes opções: discordo totalmente; discordo, mas só um pouco; concordo, mas só um pouco ou concordo totalmente. Uma 5ª opção (não sei, não quero responder) foi incluída para evitar respostas aleatórias.

Análise dos dados

Pontuação do questionário

O sistema de pontuação para calcular o desempenho dos alunos é apresentado no Quadro 2. A nota no questionário (Nota Q), entre 0 e 10, foi obtida a partir da equação (1). O denominador representa a pontuação máxima que pode ser obtida por um aluno quando $n = 34$.

$$Nota Q = \frac{Total\ de\ pontos}{2 \times n} \times 10 \quad \text{Equação (1)}$$

Quadro 2 – Sistema de pontuação utilizado para calcular o desempenho dos alunos no questionário.

Resposta	Pontuação	
	Afirmações conceitualmente corretas	Afirmações conceitualmente incorretas
<i>Não sei, não quero responder</i>	0	0
<i>Discordo totalmente</i>	-1	2
<i>Discordo, mas só um pouco</i>	-0,5	1
<i>Concordo, mas só um pouco</i>	1	-0,5
<i>Concordo totalmente</i>	2	-1

Além da Nota Q, calculou-se as notas Cat-I (n = 11), Cat-II (n = 13) e Cat-III (n = 10), alterando-se o denominador da equação (1) de acordo com a quantidade de afirmações existentes em cada caso. Essas variáveis, que refletem o desempenho dos alunos por categoria de conhecimento (Quadro 1), foram utilizadas para realizar a Análise Hierárquica de Agrupamentos (AHA) a partir de uma matriz 67 x 3. Todas as análises foram feitas com auxílio do programa computacional Pirouette versão 4.5 (Infometrix Inc., Bothell, WA, EUA).

Análise do conteúdo conceitual das proposições

Todas as proposições (n = 796) dos MCs dos alunos foram reunidas numa tabela para que elas fossem classificadas em:

- Proposições apropriadas (A), quando o conteúdo semântico é inteligível e conceitualmente correto de acordo com o conhecimento científico de referência. Ex: “*Telescópio – facilitou a observação de → Galáxias*”, “*mais tecnologia – gera → melhores instrumentos*”, “*mais tecnologia – viabiliza a observação de novas → evidências*”.
- Proposições inapropriadas (I), quando o conteúdo semântico é inteligível, mas conceitualmente incorreto de acordo com o conhecimento científico de referência. Ex: “*Telescópio – evidencia o → Big Bang*”, “*evidências – fundamentam → descobertas*”, “*avanços científicos – facilitam → descobrimentos científicos*”.
- Proposições limitadas (L), quando o conteúdo semântico não é inteligível, impedindo que o leitor do mapa compreenda como o mapeador relaciona os conceitos. Esse tipo de proposição é mais frequente quando os alunos ainda não estão familiarizados com a técnica de mapeamento conceitual. Ex: “*Mais tecnologia – juntamente com → Ciência*”, “*telescópio – que permitiu a observação com mais clareza das → estrelas*”, “*Geocêntrica para Heliocêntrica – isso transformou a visão de mundo de → todo meio científico*”, “*teorias – de como surgiu o → Universo*”.

Três pesquisadores classificaram as proposições de forma independente. Os casos discrepantes (< 5%) foram resolvidos durante uma reunião para consolidar a classificação final das proposições.

Análise da rede proposicional frente à pergunta focal

Os MCs dos alunos (n = 67) foram lidos por 3 pesquisadores de forma independente, com o objetivo de verificar se o conteúdo semântico das proposições respondia à pergunta focal “*Como a ciência e a tecnologia influenciaram a compreensão da sociedade sobre o universo?*”. As categorias “*responde*” e “*não responde*” foram criadas para sistematizar os resultados. Os casos discrepantes (< 5%) foram resolvidos durante uma reunião para consolidar a classificação final dos MCs.

O fato de os alunos terem construído proposições apropriadas não é indício suficiente de que tenham completado plenamente a tarefa e respondido à pergunta focal. Por esse motivo, torna-se indispensável uma leitura completa da rede proposicional. Um aluno pode ter construído muitas proposições apropriadas, mas ter fugido do tema delimitado pela PF ou até mesmo respondido de maneira muito superficial, o que exige do professor uma intervenção após a atividade avaliativa para solicitar maior aprofundamento no tema. A leitura completa da rede proposicional pode revelar estruturas hierárquicas limitadas ou inapropriadas (LIPHs), que se constituem em pontos de partida para promover a aprendizagem significativa (Novak, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação do entendimento declarativo dos alunos a partir do questionário

Os resultados da AHA indicaram a existência de 5 agrupamentos naturais de alunos (G1-G5), a partir das respostas dadas às afirmações do questionário. O Quadro 3 apresenta o valor médio para o desempenho dos alunos dos grupos G1-G5, considerando as afirmações relacionadas às categorias *pensamento científico* (Cat-I), *astronomia clássica* (Cat-II) e *astronomia moderna* (Cat-III). A comparação das médias permitiu a identificação de diferenças significativas entre os grupos, que foram representadas a partir de subgrupos nomeados com as letras A, B e C. A partir dessas informações, os grupos G1-G5 foram qualitativamente caracterizados da seguinte forma:

- G1: Alunos que se destacaram nessa tarefa.
- G2: Alunos que foram bem, mas com pequena queda de desempenho na parte sobre pensamento científico e queda de desempenho na parte sobre astronomia moderna.
- G3: Alunos que foram bem, mas com queda acentuada de desempenho na parte sobre astronomia moderna.
- G4: Alunos que foram bem, mas com queda acentuada de desempenho na parte sobre astronomia clássica.
- G5: Alunos que foram mal, com desempenho abaixo da média nas 3 partes do questionário.

Quadro 3 – Caracterização dos grupos G1-G5 identificados por AHA, a partir do desempenho dos alunos no questionário.

Categoria	G1 (n = 5)	G2 (n = 29)	G3 (n = 16)	G4 (n = 9)	G5 (n = 8)	Todos (n = 67)
Nota-Q Questionário	8,8±0,3	7,5±0,5	7,4±0,6	7,0±0,5	5,5±0,9	7,3±1,0
<i>Subgrupos Nota-Q</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	-
Cat-I Pensamento científico	7,8±0,5	6,7±0,8	8,0±0,9	7,5±0,8	5,0±0,5	7,0±1,2
<i>Subgrupos Cat-I</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	-
Cat-II Astronomia clássica	9,7±0,3	8,9±0,7	8,7±0,8	6,7±0,5	6,9±2,1	8,4±1,3
<i>Subgrupos Cat-II</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	-
Cat-III Astronomia moderna	8,7±0,4	6,6±0,8	5,0±0,8	6,7±0,9	4,2±0,8	6,1±1,4
<i>Subgrupos Cat-III</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	-

A nota média dos alunos no questionário foi igual a 7,3±1,0, sendo que 5 deles tiveram um desempenho bem acima dos demais (G1, 8,8±0,3). Os alunos de G2, G3 e G4 (n = 54) tiveram desempenho próximo da média, ainda que esses grupos apresentem características específicas quanto ao entendimento dos temas em estudo. O grupo G5 contém 8 alunos que tiveram um desempenho abaixo da média (5,5±0,9), sinalizando que eles merecem atenção especial por parte do professor.

O entendimento sobre pensamento científico (Cat-I) para os alunos G1, G3 e G4 (n = 30) foi acima da média (7,0±1,2) e diferente do resultado apresentado pelos alunos G2 (n = 29) que ficaram ligeiramente abaixo da média (6,7±0,8). G5 apresentou um desempenho inferior (5,0±0,5) e bem diferente quando comparado aos demais grupos.

Os alunos G1, G2 e G3 (n = 40) apresentaram um desempenho notável nas questões sobre a astronomia clássica (Cat-II), com médias iguais a 9,7±0,3, 8,9±0,7 e 8,7±0,8, respectivamente. G4 (6,7±0,5) e G5 (6,9±2,1) tiveram médias bem menores, ainda que esses conteúdos sejam frequentemente discutidos no Ensino Médio. É plausível assumir que os alunos G1, G2 e G3 tenham conhecimentos prévios mais extensos e mais bem organizados sobre a astronomia clássica do que os alunos G4 e G5.

O conteúdo sobre astronomia moderna (Cat-III), raramente abordados no Ensino Médio, registrou as maiores diferenças entre as médias dos grupos. G1 obteve o melhor desempenho (8,7±0,4), enquanto G3

(5,0±0,8) e G5 (4,2±0,8) foram os piores grupos. G2 e G4 ficaram entre esses extremos com médias iguais a 6,6±0,8 e 6,7±0,9, respectivamente.

No seu conjunto, os resultados do questionário mostram que os alunos G1 tem maior domínio do conteúdo da tarefa, enquanto os alunos G2 e G3 tem maior facilidade para lidar com os conceitos sobre astronomia clássica (Cat-II). Alunos G3 e G4 compreendem bem os conceitos sobre pensamento científico (Cat-I). Espera-se que esses alunos (G1-G4) sejam capazes de construir proposições com clareza semântica e correção conceitual, ainda que optem preferencialmente pelas categorias nas quais eles sentem maior segurança. Os alunos G5 compreende pior do que os demais os conteúdos estudados e, portanto, devem enfrentar dificuldades em construir proposições apropriadas.

Avaliação das proposições frente à correção conceitual

A Figura 4 mostra a porcentagem de proposições *apropriadas*, *limitadas* e *inapropriadas* para cada grupo de alunos. Os alunos de G1, G2 e G3 apresentaram MCs com elevada quantidade de proposições apropriadas (76%, 57% e 54%, respectivamente). Esse resultado é compatível com o que foi verificado a partir dos questionários. De todas as proposições analisadas (n = 796) apenas 23% (n = 186) foram classificadas como limitadas. O efeito do treinamento na técnica de mapeamento conceitual, implementado entre as aulas 1-4, é responsável pela baixa incidência desse tipo de proposição (Aguiar & Correia, 2013; Correia & Aguiar, 2017). Devemos lembrar que os MCs em análise foram elaborados na aula 5, uma semana após o término do treinamento. É esperado que a porcentagem de proposições limitadas diminua ainda mais no decorrer do semestre letivo, caso outras atividades baseadas nos MCs sejam desenvolvidas pelo professor.

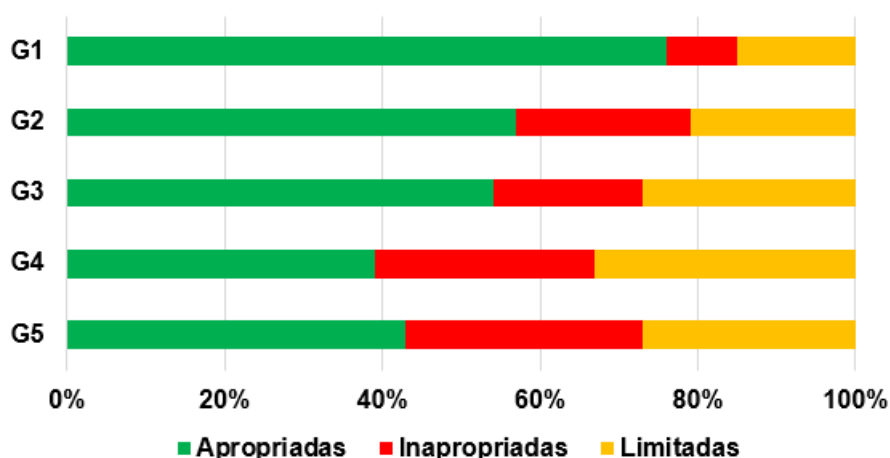


Figura 4 – Porcentagem de proposições construídas pelos alunos dos grupos G1-G5 para as classificações Apropriada, Limitada e Inapropriada em barras verde, vermelha e amarela, respectivamente.

Os MCs do G4 apresentaram a maior porcentagem de proposições limitadas (33%). Isso indica a dificuldade em lidar com o formato da tarefa avaliativa (elaborar MCs). Proposições como “*Big Bang* – foram formadas as → *galáxias*” e “*hipóteses* – início do → *método científico*” são limitadas porque não é possível avaliar com precisão a relação entre os conceitos que os alunos estabeleceram. Por outro lado, vale a pena destacar que esses alunos identificam que há uma relação conceitual entre “*Big Bang*” e “*galáxias*”, bem como entre “*hipóteses*” e “*método científico*”. Eles só não conseguiram expressar tais relações com a devida clareza semântica, impedindo a verificação da correção conceitual destas proposições. Estes exemplos reforçam a importância do treinamento na técnica de mapeamento conceitual, como elemento crucial para que os alunos consigam representar as relações conceituais com clareza e precisão.

As proposições inapropriadas podem ser ilustradas a partir do seguinte exemplo: “*telescópio* – evidencia o → *Big Bang*”. A clareza semântica foi suficiente para identificar uma confusão entre o cientista (que evidencia as coisas) e o instrumento utilizado para fazer observações (que produz imagens). O professor pode discutir com o aluno se o verbo evidenciar foi a melhor escolha para relacionar esses conceitos. A partir disso, é possível questionar o papel do cientista como sujeito que interpreta as imagens produzidas pelo telescópio. As interpretações podem, ou não, produzir evidências sobre o Big Bang. Este caso mostra como o conteúdo semântico dos MCs é útil para identificar enunciados incorretos ou imprecisos de forma rápida.

G4 e G5 tem porcentagens similares de proposições apropriadas nos seus MCs (39% e 43%, respectivamente). A diferença é que G5 tem mais proposições inapropriadas (30%) do que limitadas (27%). Devemos nos lembrar que esse é o grupo com o pior desempenho no questionário, justificando a maior incidência de proposições inapropriadas. De forma geral, a análise de correção conceitual nos permite concluir que:

- A incidência de proposições apropriadas aumenta quanto maior for o entendimento sobre o tema estudado.
- A incidência de proposições inapropriadas diminui quanto maior for o entendimento sobre o tema estudado.
- A incidência de proposições limitadas diminui quanto maior for o domínio da técnica de mapeamento conceitual.

Avaliação da rede posicional frente à pergunta focal

A construção de MCs a partir de temas amplos, tais como “universo”, “mudanças climáticas”, “qualidade de vida”, dá espaço para o mapeador escolher o enquadramento mais conveniente de acordo com os seus conhecimentos prévios. Desta forma, ele evita a exposição de conhecimentos que ainda não estão bem consolidados nos seus modelos mentais. A definição de uma pergunta focal serve para especificar qual é o enquadramento a ser considerado na atividade de mapeamento. Ela contém os elementos a serem privilegiados durante a seleção de conceitos e a construção de proposições (Novak, 2010). No contexto da nossa pesquisa, a pergunta focal da tarefa avaliativa (Figura 3) foi desenvolvida para estimular as relações entre os conceitos Cat-II e Cat-III, que se referem à astronomia clássica e moderna, respectivamente.

A Figura 5 apresenta a proporção de MCs dos grupos G1-G5 que respondem à pergunta focal. Todos os alunos G1, que apresentaram o melhor desempenho no questionário e construíram proporcionalmente mais proposições apropriadas, conseguiram criar MCs que respondem à pergunta focal. A maioria dos alunos G2 e G3 também se enquadram nesta situação, mas alguns MCs fugiram do escopo declarado pela pergunta focal. Os alunos G4 e G5 apresentam MCs que, na sua maioria, tratam do tema sem responder à pergunta focal. Vale a pena destacar que cerca de 90% dos MCs do G5 não responderam à pergunta focal. Este fato ratifica a necessidade do professor em dispensar uma atenção especial a estes alunos, pois eles não compreenderam adequadamente o conteúdo conceitual trabalhado nas aulas e o formato da atividade avaliativa (elaboração de MCs).

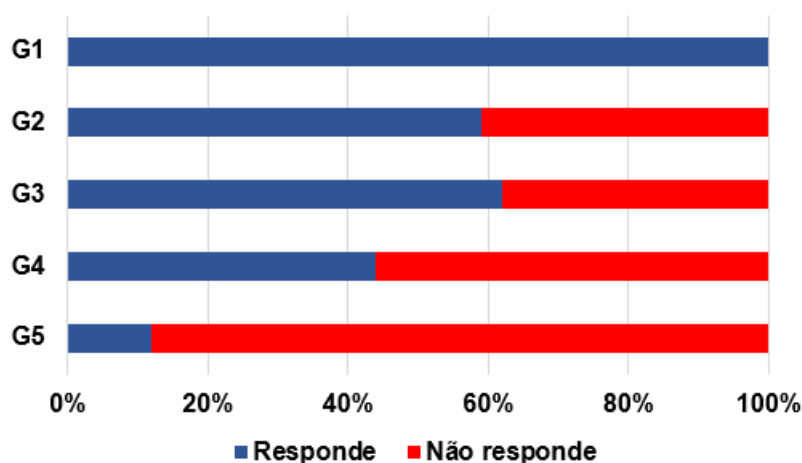


Figura 5 – Proporção de alunos que respondem à PF entre os grupos G1-G5.

O padrão observado na análise do questionário e da correção conceitual das proposições também foi observado nesta análise. É possível verificar que há uma relação entre o nível de conhecimento conceitual que os alunos apresentaram no questionário com a quantidade de MCs que responderam à pergunta focal. Quanto maior conhecimento, menor a ocorrência de fuga à pergunta focal.

Esta apreciação integral da rede posicional somente foi possível porque havia uma pergunta focal para nortear as escolhas dos alunos. Infelizmente, a maioria das atividades baseadas no mapeamento conceitual desconsidera o papel da pergunta focal e dificulta a caracterização de MCs que contém proposições apropriadas, mas que abordam o tema fora do enquadramento esperado. Reconhecer os fundamentos teóricos que subjazem a técnica de mapeamento conceitual é indispensável para obter os resultados esperados no tocante ao ensino e a aprendizagem dos alunos (Canãs, Novak, & Reiska, 2015).

A inclusão de conceitos sobre astronomia moderna (Cat-III), raramente abordados durante o Ensino Médio, é necessária para responder à pergunta focal. Os alunos podem seguir três abordagens distintas durante a elaboração do mapa conceitual:

- Usar os conceitos da Cat-III com propriedade, construindo proposições relevantes para responder à pergunta focal. Esse foi o comportamento esperado para os alunos G1.
- Usar os conceitos da Cat-III com dificuldade, construindo poucas proposições que não respondem à pergunta focal. Esse foi o comportamento esperado para os alunos G2 e G4.
- Não usar os conceitos da Cat-III, construindo proposições somente com conceitos Cat-I e Cat-II que não respondem à pergunta focal. Esse foi o comportamento esperado para os alunos G3 e G5.

Mapas conceituais ilustrativos

As Figuras 6-8 apresentam MCs que ilustram os principais padrões observados a partir das análises de correção conceitual das proposições e da rede proposicional frente à pergunta focal.

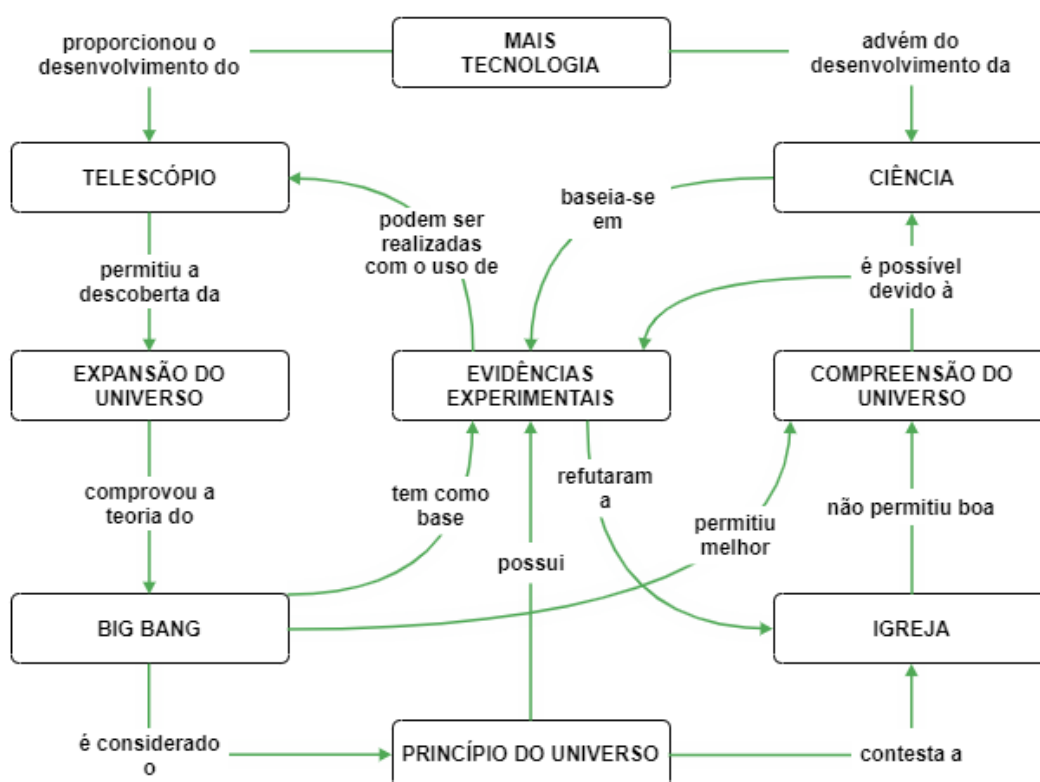


Figura 6 – Mapa conceitual de um aluno do grupo G1. Nota-Q: Cat-I = 7,5; Cat-II = 9,0; Cat-III = 8,5. Todas as proposições (n=15) são apropriadas (verde). O mapa respondeu à pergunta focal. Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 6 apresenta um MC elaborado por um estudante que obteve Nota-Q acima da média geral em todas as categorias (Cat-I = 7,5; Cat-II = 9,0; Cat-III = 8,5). Isso demonstra que tem facilidade para operacionalizar os conceitos e construir relações entre as três categorias consideradas. Isso é evidenciado também pela não ocorrência de proposições limitadas nem inapropriadas. A partir da análise das proposições e da leitura da rede proposicional é possível verificar que esse estudante explorou com nível adequado os conteúdos discutidos nas aulas 1-4 da disciplina. Os conceitos e as relações estabelecidas por eles exploram bem a metodologia científica (ex. “compreensão do universo – é possível devido à → ciência/evidências experimentais”), sobre a importância do desenvolvimento tecnológico, assim como a relação recíproca com a ciência (ex. “mais tecnologia – proporcionou o desenvolvimento do → telescópio”), a relação entre o uso da tecnologia para comprovação de teorias científicas (ex. “telescópio – permitiu a descoberta da → expansão do universo”) e como essas evidências que comprovam teorias científicas melhoram a compreensão da sociedade (ex. “Big Bang – permitiu melhor → compreensão do universo” e “evidências experimentais – refutaram a → Igreja”). Essa construção culmina em um MC que foi considerado adequado para responder à pergunta focal. Os temas discutidos nas aulas foram explorados na profundidade esperada pelo professor, con-

siderando os materiais de estudo e as discussões ocorridas durante as aulas. Construções como “*Mais tecnologia – advém do desenvolvimento da → Ciência*” e “*Ciência – baseia-se em → Evidências experimentais*”, consideradas como apropriadas para os fins desse trabalho, podem representar uma concepção ingênua e até equivocada na relação entre ciência e tecnologia. Essas proposições oferecem pontos de partida para o professor discutir uma visão mais ampliada da ciência com os alunos.

A Figura 7 apresenta um MC elaborado por um estudante que tem um bom entendimento sobre os temas *pensamento científico* (Cat-I = 7,7 - acima da média), a partir do qual utilizou conceitos como *observações* e *evidências*. Ele também se serviu de conceitos relacionados com a *astronomia clássica* (Cat-II = 8,5 - próxima da média), de onde retirou conceitos como *geocentrismo*, *tradição*, *Galileu*, *telescópio*, *heliocentrismo* e *Copérnico*. Por outro lado, ele apresentou baixo entendimento sobre o tema *astronomia moderna* (Cat-III = 4,8 - bem abaixo da média), optando por não utilizar conceitos vinculados a essa discussão. A leitura da rede indica um mapa bastante superficial e genérico contendo proposições que poderiam ter sido construídas por um aluno do ensino médio que não tivesse participado das discussões da disciplina. O baixo desempenho em *astronomia moderna*, por exemplo, explica porque o aluno preferiu manter-se na zona de conforto dos conhecimentos construídos antes da disciplina CN, que não transformou significativamente os seus conhecimentos prévios. Proposições como “*observações – levam a → evidências*”, “*geocentrismo – tinha apoio na → tradição*” e “*heliocentrismo – foi criado por → Copérnico*” não podem ser consideradas inapropriadas, nem limitadas. Apesar de conter 91% de proposições apropriadas, esse mapa não responde à pergunta focal, caracterizando uma situação comum e pouco reportada na literatura: mapas conceitualmente aceitáveis, mas que fogem do escopo delimitado pela pergunta focal.

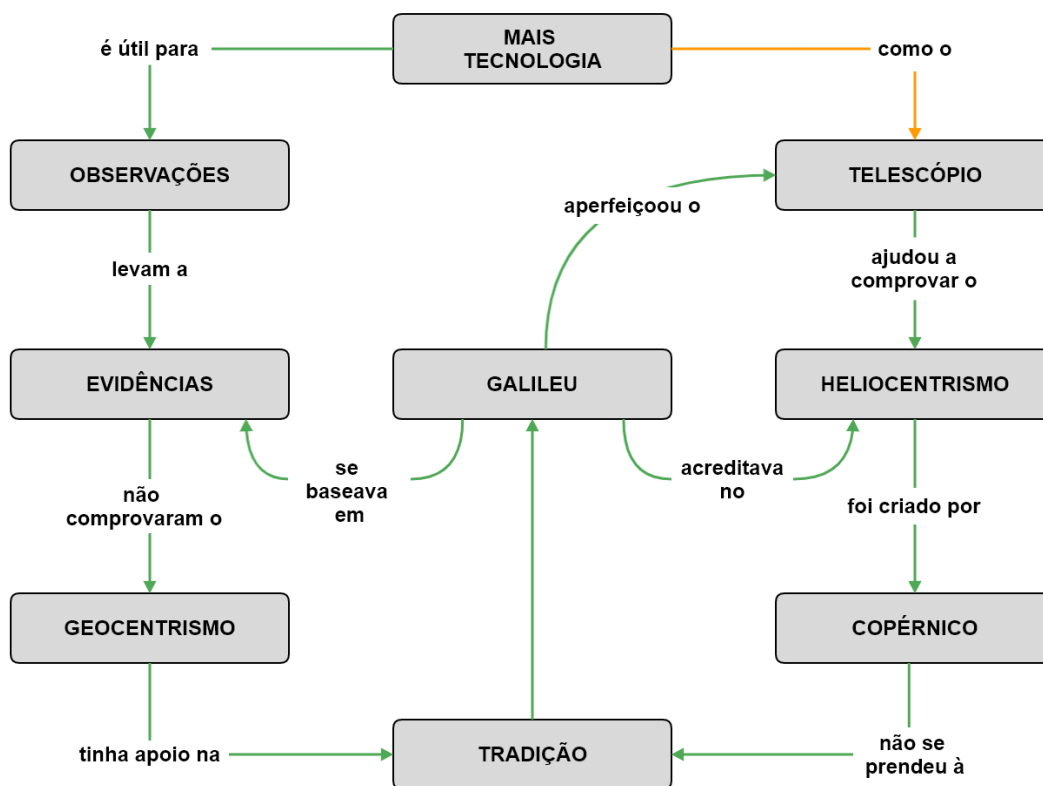


Figura 7 – Mapa conceitual de um aluno do grupo G3. Nota-Q: Cat-I = 7,7; Cat-II = 8,5; Cat-III = 4,8. Proposições apropriadas (n = 10, verde). Proposições limitadas (n = 1, laranja). O mapa não respondeu à pergunta focal (caixas em cinza) ainda que as proposições sejam conceitualmente adequadas. Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 7 ilustra um caso interessante que poderia passar despercebido aos professores e pesquisadores que utilizam mapas conceituais construídos pelos alunos sem o cuidado de utilizar uma pergunta focal para delimitar o contexto em que a rede proposicional deveria se inserir. Ocorre aqui uma fuga da pergunta focal sem que haja um número expressivo de proposições limitadas ou inapropriadas. Esse fenômeno pode ser caracterizado como uma simplificação da tarefa, evitando o uso de conceitos complexos que são relevantes para responder à pergunta focal. Essa simplificação da tarefa faz com que o professor não consiga ter acesso às LIPHs desse aluno para orientá-lo sobre como estudar os aspectos que ainda não foram assimilados adequadamente.

A Figura 8 apresenta um MC elaborado por um estudante que tem um bom entendimento sobre o tema *pensamento científico* (Cat-I = 7,5 - acima da média), alto entendimento no tema *astronomia clássica* (Cat-II = 9,2 - acima da média) e baixo entendimento no tema *astronomia moderna* (Cat-III = 4,5 - bem abaixo da média). Essas características do entendimento conceitual explicam a qualidade das proposições que ele elaborou. A escolha dos conceitos *hipóteses*, *método científico*, *evidências*, *5 sentidos*, *descobertas*, *religião*, *crença e autoridade* e *testável por qualquer pessoa* (que não é um conceito) mostra que esse aluno construiu seu mapa baseado praticamente apenas no tema *pensamento científico* (menos relevante para responder à pergunta focal), onde teve um bom desempenho na Nota-Q. Ele não utilizou conceitos de *astronomia clássica*, na qual também teve um bom desempenho e evitou conceitos mais complexos da categoria *astronomia moderna*, em que teve um baixo desempenho. A grande quantidade de proposições *limitadas* mostra que este aluno também tem dificuldades com a técnica de mapeamento conceitual.

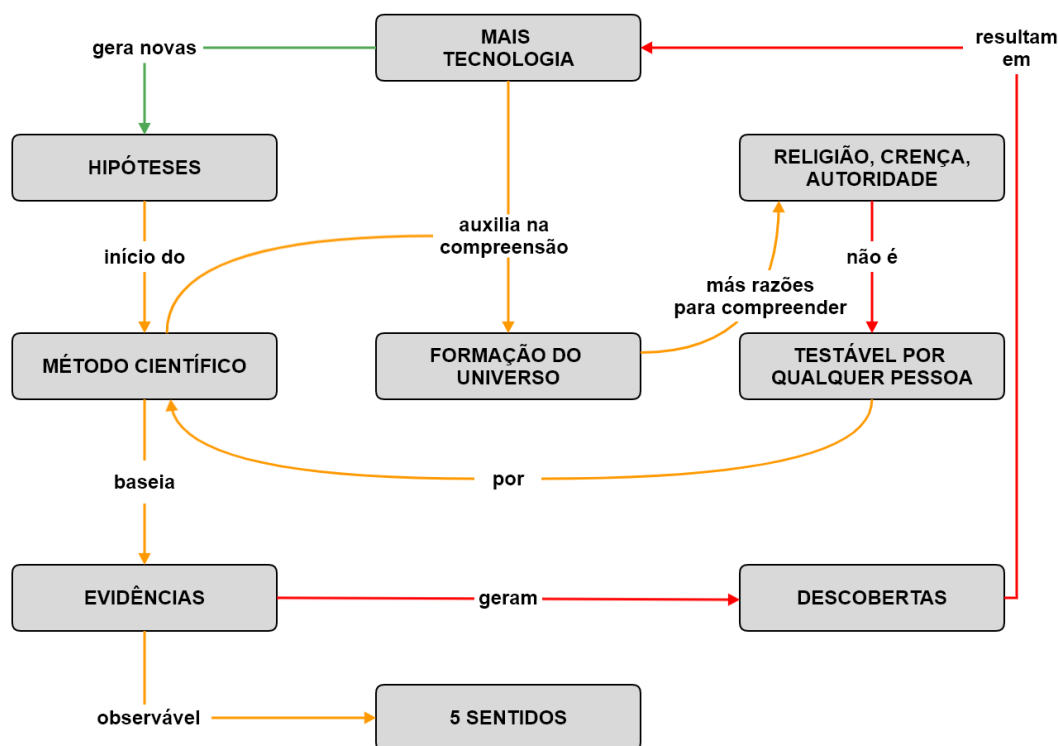


Figura 8 – Mapa conceitual de um aluno do grupo G5. Nota-Q: Cat-I = 7,5; Cat-II = 9,2; Cat-III = 4,5. As proposições apropriadas (n = 1, verde) são ilustradas em verde, limitadas (n = 7), em laranja e inapropriadas (n = 3), em vermelho. As caixas contendo os conceitos foram preenchidas na cor cinza para indicar que o MC não responde à pergunta focal. Fonte: elaborado pelos autores.

Ainda que tenha operado em uma zona conceitual que indica ser mais confortável, há grande ocorrência de proposições limitadas, vagas e sem clareza semântica (ex. “*testável por qualquer pessoa* – *por* → *método científico*” e “*formação do universo* – *más razões para compreender* → *religião, crença autoridade*”) e outras que são meramente associativas, inadequadas dentro das expectativas de um MC (ex. “*hipóteses* – *início do* → *método científico*” e “*evidências* – *observável* → *5 sentidos*”). A leitura integral do MC revela uma rede proposicional superficial e vaga, que não responde à pergunta focal. Diferente do caso anterior, esse aluno tem mais dificuldade com a técnica de mapeamento conceitual.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados confirmam a hipótese de que a pergunta focal tem papel relevante para identificar as estruturas proposicionais limitadas ou inapropriadas (LIPHs). Elas se expressam por meio de proposições inapropriadas e, também, por meio de MCs com proposições apropriadas que não respondem à pergunta focal. Esse último caso é pouco reportado na literatura, que negligencia os estudantes que adotam abordagens superficiais para se manter dentro da sua zona de conforto conceitual. Os 5 grupos formados a partir da análise do questionário permitiram identificar alunos com dificuldades em lidar com o conteúdo e com a técnica de mapeamento conceitual. A Figura 9 caracteriza, de forma esquemática, os alunos dos grupos G1-G5 em função dessas dificuldades.

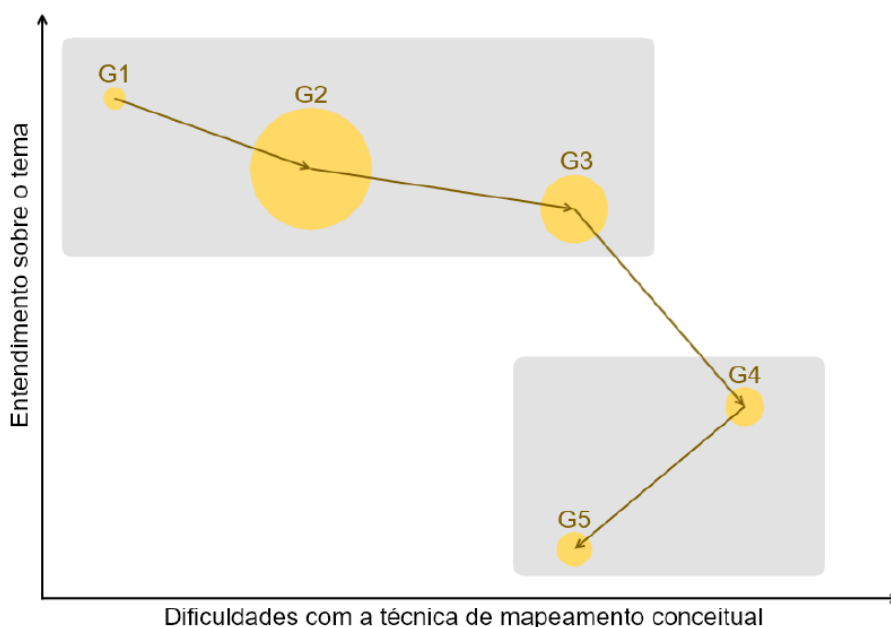


Figura 9 – Caracterização dos grupos formados a partir da Nota-Q em relação ao *entendimento sobre o tema* e as *dificuldades da técnica de mapeamento conceitual*. O tamanho dos círculos representa o número de estudantes que compõem cada grupo. Fonte: elaborado pelos autores.

A partir dos resultados apresentados, concluímos que as análises semânticas (correção conceitual das proposições e aderência da rede proposicional a uma pergunta focal) são importantes e devem ser realizadas por pesquisadores e professores considerando os pontos a seguir.

1. A leitura e análise da correção conceitual de cada uma das proposições é uma estratégia essencial para verificar o conhecimento conceitual dos alunos na tarefa avaliativa. Tanto a avaliação de cada proposição isolada como a leitura e análise de toda a rede proposicional mostraram que a qualidade das proposições construídas estava relacionada com o nível de entendimento dos alunos por tema detectado no questionário. Dessa forma, o professor pode utilizar análise de correção conceitual das proposições para avaliar o entendimento dos alunos, identificando a existência de LIPHs.

2. O uso da pergunta focal permitiu delimitar o campo conceitual que os alunos devem utilizar para construir a rede proposicional. Ela é indispensável para avaliar o nível de profundidade do conhecimento conceitual dos alunos. Sem a pergunta focal, é possível que passem despercebidos mapas que são genéricos demais, que ocultam as dificuldades conceituais dos alunos por conta de uma simplificação da tarefa de mapeamento.

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), 141-157. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4265>
- Aguiar, J. D., 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. *Journal of Science Education*, 15(1), 14-19. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/260082053_How_can_we_prepare_effective_concept_maps_Training_procedures_and_assessment_tools_to_evaluate_mappers'_proficiency
- Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bauman, A. (2018). Concept Maps: Active Learning Assessment Tool in a Strategic Management Capstone Class. *College Teaching*, 66(4), 213-221. <https://doi.org/10.1080/87567555.2018.1501656>

- Brakoniecki, A., Shah, F. (2017) The Use of Concept Maps to Assess Preservice Teacher Understanding: A Formative Approach in Mathematics Education. *Journal of Education*, 197(1), 23-32. <https://doi.org/10.1177/002205741719700104>
- 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. <https://doi.org/10.1002/tea.20147>
- Cañas, A. J., Novak, J. D., Reiska, P. (2015). How good is my concept map? Am I a good Cmapper? *Knowledge Management & E-Learning*, 7(1), 6–19. <https://doi.org/10.34105/j.kmel.2015.07.002>
- Correia, P. R. M., do Valle, 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), 678-685, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.011>.
- Correia, P., Cabral, G., & Aguiar, J. (2016). Cmaps with Errors: Why not? Comparing Two Cmap-Based Assessment Tasks to Evaluate Conceptual Understanding. In A. Cañas, P. Reiska, & J. Novak, J. (Eds.). *Innovating with concept mapping: 7th international conference on concept mapping, CMC 2016, Tallinn, Estonia, September 5-9, 2016, proceedings*. [Basel]: Springer, 2016. 635, 1-15. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45501-3>.
- Correia, P. R. M., & Aguiar, J. G. (2017). Avaliação da proficiência em mapeamento conceitual a partir da análise estrutural da rede proposicional. *Ciência & Educação (Bauru)*, 23(1), 71-90. <https://doi.org/10.1590/1516-731320170010005>
- Correia, P. R. M., & Nardi, A. (2019). O que revelam os mapas conceituais dos meus alunos? Avaliando o conhecimento declarativo sobre a evolução do universo. *Ciência & Educação (Bauru)*, 25(3), 685-704. Epub October 07, 2019. <https://doi.org/10.1590/1516-731320190030008>
- Davies, M. (2011). Concept mapping, mind mapping and argument mapping: what are the differences and do they matter? *Higher Education*, 62, 279-301. <https://doi.org/10.1007/s10734-010-9387-6>
- Holbrook, J., & Rannikmae, M. (2007). The nature of science education for enhancing scientific literacy. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1347-1362. <https://doi.org/10.1080/09500690601007549>
- Kinchin, I. M. (2016). *Visualising powerful knowledge to develop the expert student*. Rotterdam: Sense Publishers.
- 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), 43-57. <https://doi.org/10.1080/001318800363908>
- 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), 475-492. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199904\)36:4<475::AID-TEA5>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199904)36:4<475::AID-TEA5>3.0.CO;2-O),
- Moreira, M. A., Greca, I.M. & Palmero, M.L.R. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2, 36–56. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4134>
- Moreira, M. A. (2011). *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo, SP: Livraria da Física.
- Novak, J. D. (2002). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86(4), 548–571. <https://doi.org/10.1002/sce.10032>
- Novak, J. D. (2010). *Learning, creating, and using knowledge: concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. New York: Routledge.

- Romero, C., Carzola, M., & Buzón, O. (2017). Meaningful Learning Using Concept Maps as a Learning Strategy. *Journal of Technology and Science Education*, 7(3), 313-332. <http://dx.doi.org/10.3926/jotse.276>
- 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), 569-600. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199608\)33:6<569::AID-TEA1>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199608)33:6<569::AID-TEA1>3.0.CO;2-M)
- Salmon, D., & Kelly, M. (2015). *Using Concept Mapping to Foster Adaptive Expertise: Enhancing Teacher Metacognitive Learning to Improve Student Academic Performance*. New York, NY: Peter Lang Publishing.
- Toigo, A. M., Moreira, M. A., & Costa, S. S. C. (2012). Revisión de la literatura sobre el uso de mapas conceptuales como estrategia didáctica y de evaluación. *Investigações em Ensino de Ciências*, 17(2), 305-339. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/188>

Recebido em: 05.06.2020

Aceito em: 18.10.2020