

Conceitualização e metacognição em Ciências e Matemática: pressupostos teóricos de um instrumento analítico

Conceptualization and metacognition in Science and Mathematics: theoretical assumptions of an analytical instrument

Keila Tatiana Boni¹
Carlos Eduardo Laburú²

Resumo

Este estudo apresenta a construção de um instrumento analítico para caracterizar diferentes níveis de explicitação manifestados por estudantes em contextos de aprendizagem científica e matemática, bem como apresenta, descreve, justifica e relaciona os principais pressupostos teóricos que fundamentam a constituição desse instrumento. Baseando-se em uma reformulação do Modelo de Redescrição Representacional de Karmiloff-Smith (1994; 2010), tendo em vista atender especificidades da aprendizagem científica e matemática, o instrumento analítico se caracteriza por acrescentar e aprimorar nesse modelo critérios a respeito das atividades cognitivas e procedimentais relacionadas às representações, bem como possibilidades de inferências a partir de invariantes operatórios e invariantes predicativos, segundo Vergnaud (2008; 2009; 2017). Conclui-se que o instrumento analítico, em fase de estudo exploratório, pode se constituir como uma eficaz ferramenta a ser utilizada por professores e pesquisadores como auxílio no acompanhamento do processamento executivo e cognitivo do estudante em determinado instante de sua aprendizagem científica e matemática, possibilitando a reflexão e o apoio à elaboração de estratégias educacionais, com o objetivo de auxiliar o estudante a atingir maiores níveis de conceitualização e a metacognição.

Palavras chave: educação matemática; educação científica; conceitualização; metacognição

Abstract

This study presents the construction of an analytical tool to characterize different levels of explicitness expressed by students in scientific and mathematical learning contexts, as well as present, describe, justify and relate the main theoretical assumptions that support the constitution of this instrument. Based on a reformulation of Karmiloff-Smith's Representational Redescription Model (1994, 2010), in order to meet the specificities of scientific and mathematical learning, the analytical tool is characterized by adding and improving in this model criteria regarding cognitive and as well as possibilities of inferences from operative invariants and predicative invariants, according to Vergnaud (2008, 2009, 2017). It is concluded that the analytical instrument, in an exploratory study phase, can be an

¹ Universidade Estadual de Londrina | keilaboni@hotmail.com

² Universidade Estadual de Londrina | laburu@uel.br

effective tool to be used by teachers and researchers as an aid in the monitoring of the student's cognitive and executive processing at a certain point in their scientific and mathematical learning, reflection and support for the elaboration of educational strategies, with the objective of helping the student achieve higher levels of conceptualization and metacognition.

Keywords: mathematics education; scientific education; conceptualization; metacognition

Introdução

Seja na Matemática ou em Ciências, a aprendizagem pode ser entendida como um processo circunstanciado por diversos fatores que a influenciam e que estão além da sala de aula. Dentre esses fatores, podemos considerar o contexto socioeconômico e cultural do estudante, os recursos e as metodologias de ensino adotados pelo professor em suas aulas, entre outros.

Além de fatores externos, a aprendizagem depende de processos cognitivos e de tomada de consciência do aprendiz em relação a seu conhecimento e construção. Essa tomada de consciência está associada à metacognição, a qual se relaciona às percepções e reflexões a respeito do próprio processamento cognitivo. Afinal, a essência do processo metacognitivo está na capacidade do aprendiz em ter consciência de suas ações e pensamentos (JOU; SPERB, 2006), permitindo ao mesmo monitorar e regular seus processos cognitivos (FLAVELL, 1987).

Atos perceptivos e reflexivos também apresentam ligação com a conceitualização, uma vez que esta compreende a ação de formar e organizar internamente conceitos, o que acontece a partir da identificação de objetos e reconhecimento de suas propriedades, relações e transformações (VERGNAUD, 2008), em que esses objetos podem ser concretos e, portanto, o ato perceptivo sobre eles pode ser direto ou quase-direto, ou podem ser objetos abstratos, não diretamente acessíveis à percepção. Independente do objeto ser concreto ou abstrato, mas o compreendendo, de maneira mais geral, como um objeto de estudo, ou seja, como um conceito, fundamentados em referenciais teóricos da área de ensino e aprendizagem matemático e científico, reconhecemos que desde os primeiros atos de percepção desse objeto até a conceitualização e a metacognição, todo o processamento cognitivo é circunstanciado por representações e diferentes atividades de ordem cognitiva e procedimental sobre essas representações.

Como pronunciam Hiebert e Carpenter (1992), o conhecimento abrange representações mentais que se conectam entre si por meio de sistemas simbólicos, formando redes de conhecimento. Para Laburú e Silva (2011), a formação de melhores redes de conexões internas (mentais) depende da construção de vínculos entre diferentes representações. Logo, as ligações conceituais entre representações têm papel de destaque no processamento interno e, conseqüentemente, no alcance progressivo de níveis cognitivos mais elevados.

Nessa direção, apresentamos neste trabalho parte de uma pesquisa mais ampla, que investiga níveis de explicitação manifestados por estudantes em aprendizagem científica e matemática. Precisamente, apresentamos um instrumento analítico e os seus fundamentos teóricos, que é aplicado nessa investigação mais ampla com a finalidade de analisar diferentes níveis de explicitação de estudantes em aprendizagem matemática e científica.

O instrumento analítico fundamentou-se no Modelo de Redescritção Representacional (KARMILOFF-SMITH, 1994; 2010), o qual já apresenta descrições para diferentes níveis de explicitação, e que parte da premissa de que a compreensão do processamento cognitivo até a metacognição está atrelada às mudanças representacionais e tomadas de consciência. Nesse modelo, o mais alto nível de explicitação é atingido quando conhecimentos podem ser explicitados verbalmente. Considerando que o modelo original foi elaborado para o campo da Linguagem, e que os campos Matemático e Científico são caracterizados por desafios representacionais que abrangem sistemas simbólicos característicos, que vão além daqueles exigidos para o campo da Linguagem, adaptamos o modelo de Karmiloff-Smith (1994; 2010), incluindo no mesmo pressupostos da Teoria dos Campos Conceituais (VERGNAUD, 2008; 2009, 2017) e da Diversidade Representacional (LABURÚ; SILVA, 2011; PRAIN; WALDRIP, 2006; DUVAL, 2009; 2012) que mantêm convergências teóricas com o modelo original, conforme passaremos a apresentar e discutir.

Metacognição e relações entre conhecimentos implícitos e explícitos

A atividade metacognitiva promove avanços na aprendizagem do estudante, pois está relacionada à sua competência de reconhecer os conhecimentos já construídos e os que ainda desconhece, bem como em reconhecer os processos já dominados ou não. A tomada de consciência a respeito dos próprios saberes é fundamental para que os estudantes, em conjunto com o professor, possam buscar meios para superar dificuldades, pautando-se em inferências realizadas a partir daquilo que cada estudante já sabe (RIBEIRO, 2003).

Uma das características manifestadas por bons estudantes é melhor aptidão na utilização de “estratégias para adquirir, organizar e utilizar o seu conhecimento, como na regulação do seu progresso cognitivo” (RIBEIRO, 2003, p. 109). Em outras palavras, estudantes bem-sucedidos em lidar com tarefas acadêmicas possuem competências metacognitivas bem desenvolvidas, seja em relação à compreensão da tarefa e suas finalidades, sua realização, avaliação e execução (FLAVELL; WELLMAN, 1977), ou em relação à comunicação e compreensão verbal (VALENTE et al, 1989), oral e escrita, pertinente à aprendizagem do conceito envolvido em tal tarefa.

No presente estudo, compreendemos a *cognição* como o processo de representar internamente percepções e informações de natureza exógena, ou seja, de natureza externa. Por sua vez, entendemos a metacognição como a “cognição sobre a cognição”, ou seja, como o “ter conhecimento sobre o conhecimento”, que consiste na consciência do próprio saber e da organização dos próprios processos cognitivos. Tudo isso é promovido a partir da atividade de re-representação interna de percepções e informações oriundas de fatores externos. De maneira mais abrangente, defende Flavell (1981) que, além do conhecer o próprio conhecimento e processos cognitivos, a metacognição refere-se ao conhecimento das formas de operação de tais processos e controle executivo destes. Diante disso, há duas formas de compreensão da metacognição que se complementam:

[...] *conhecimento sobre o conhecimento* (tomada de consciência dos processos e das competências necessárias para a realização da tarefa) e *controle ou auto-regulação* (capacidade para avaliar a execução da tarefa e fazer correções quando necessário – controle da atividade cognitiva, da

responsabilidade dos processos executivos centrais que avaliam e orientam as operações cognitivas) (RIBEIRO, 2003, p. 110).

Nessa direção, Dunlosky e Metcalfe (2009) apresentam o conceito de metacognição como abrangendo o *conhecimento metacognitivo*, que é o conhecimento sobre a própria cognição, o *monitoramento metacognitivo*, que corresponde à avaliação da situação no momento de atividade cognitiva, e o *controle metacognitivo*, que diz respeito à regulação de aspectos específicos da atividade cognitiva. Assim, entende-se que a metacognição vai além do conhecimento sobre o próprio conhecimento, mas abrange um processamento que permite ao aprendiz monitorar e regular sua própria atividade cognitiva (JOU; SPERB, 2006).

O conhecimento e o seu processo executivo estão intrinsicamente relacionados e se desenvolvem a partir da conscientização progressiva do sujeito a respeito do seu saber. Para Lawson (1984 apud RIBEIRO, 2003), por exemplo, o conhecimento metacognitivo é resultado dos processos executivos, o que caracteriza aquele como distinto, porém, produto deste:

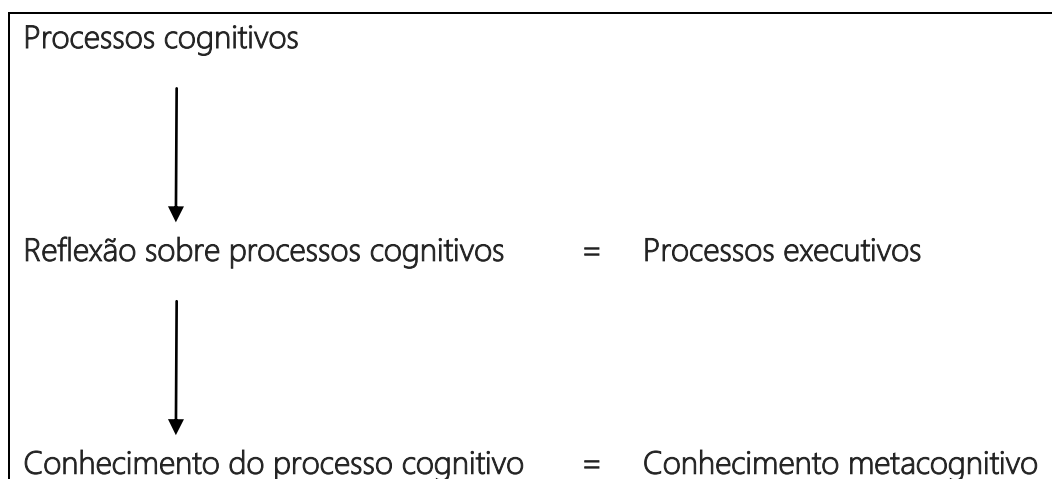


Figura 1 – Relação entre conhecimento metacognitivo e processos executivos, adaptado de Lawson (1984 apud RIBEIRO, 2003, p. 112).

Na Figura 1, Lawson (1984 apud RIBEIRO, 2003) faz menção à aquisição do conhecimento metacognitivo, que tem como ponto de partida os processos cognitivos. A reflexão a respeito desses processos, ou seja, a respeito de percepções e de informações exógenas, implica na execução e no monitoramento de atividades cognitivas (*Processos Executivos*). A partir do momento em que o aprendiz passa a tomar consciência dessa atividade reflexiva, ou seja, de seus processos executivos, bem como de seu processamento cognitivo, progressivamente ele atingirá o *Conhecimento Metacognitivo*. Em complemento, Fernández-Duque, Bird e Posner (2000) defendem que metacognição e processos executivos estão intrinsecamente relacionados, de modo que ambos contemplam atividades mentais de planejamento, monitoramento e regulação das próprias ações.

Ertmer e Newby (1996) entendem que o planejamento, controle e reflexão no processo de aprendizagem são fundamentais, e que estes devem acontecer de maneira consciente. Nesse contexto, a aprendizagem não depende apenas de que o aprendiz tenha consciência do conhecimento específico, mas também dos processos executivos necessários no momento de construção desse conhecimento e sua aplicação. Assim, o aprendiz precisa ser

capaz de saber: i) o que sabe; ii) como utilizar o que sabe; e, iii) onde, quando e por que utilizar o que sabe (ERTMER; NEWBY, 1996).

Apesar das defesas a respeito da tomada de consciência envolvida na dinâmica que parte dos processos cognitivos em direção ao desenvolvimento do conhecimento metacognitivo, estudos posteriores, como o de Flavell (1985), indicam que essa dinâmica também inclui aspectos não conscientes, o que acarreta no fato de alguns conhecimentos nem sempre serem passíveis de serem relatados. A respeito do relato de conhecimentos, Brown (1987) afirma que os relatos verbais apresentam natureza metacognitiva, pois implicam em acesso consciente aos processos cognitivos.

Karmiloff-Smith (2010) partilha de diversos aspectos das colocações anteriores. Para a autora, a compreensão do desenvolvimento cognitivo em geral, até a metacognição, depende de mudanças representacionais, as quais são circunstanciadas por níveis progressivos, que contemplam desde representações implícitas até diferentes níveis de explicitação. No primeiro nível estão contidos representações e meta-processos não conscientes, enquanto que os diferentes níveis de explicitação contemplam representações e meta-processos progressivamente acessíveis à consciência e, assim, cada vez mais disponíveis à verbalização.

A passagem progressiva entre os quatro diferentes níveis acontece segundo operações internas de *redescrição representacional*, definida pela própria autora como um processo que aumenta a flexibilidade do conhecimento armazenado na mente, convertendo a informação *implícita* em conhecimento *explícito* (KARMILOFF-SMITH, 1994). Portanto, o desenvolvimento cognitivo depende do processo pelo qual a informação, contida e codificada no sistema cognitivo, se torna um conhecimento cada vez mais explícito e acessível metacognitivamente ao estudante (Ibid.). Isso possibilita, inclusive, a explicitação coerente e organizada desse conhecimento para que um observador externo possa avaliá-lo.

A seguir, são apresentados os quatro níveis de explicitação (em forma de representações mentais) e conscientização da informação, do implícito ao explícito, que compõem o modelo teórico de Redescrição Representacional, de Karmiloff-Smith (1994, 2010):

Implícito (I): o aprendiz é categorizado nesse nível quando, diante de uma determinada situação, ele se atenta às informações externas que estão disponíveis e “acumula” representações destas, guardando-as em sua memória sem estabelecer ligações entre elas (OLIVEIRA, 2009). Portanto, tais informações são codificadas, porém não são tomadas de forma consciente e, por esse motivo, as codificações dessas informações são consideradas como de natureza procedimental e não conscientes. Esse nível apresenta as seguintes características: i) a informação é codificada (representada) de forma procedimental; ii) as codificações ou representações procedimentais são especificadas sequencialmente, ou seja, na mesma ordem em que as informações foram codificadas e, por isso, em geral, não há apresentação de erros em produções que exigem tais informações de maneira sequencial; iii) as representações são armazenadas pelo aprendiz independentemente umas das outras; e, iv) não são estabelecidas ligações representacionais, seja dentro ou fora de um determinado domínio.

Explicitação Primária (E-i): nesse nível, as representações implícitas do nível anterior, que podemos considerar como procedimentais, são *redescritas*, ou seja, ocorre sobre elas uma operação interna de re-representação, porém no mesmo código representacional em

que existiam no primeiro nível, possibilitando que tais representações sejam manipuladas mentalmente e relações entre elas, dentro de um mesmo código, sejam definidas (KARMILOFF-SMITH, 2010).

Esse nível é categorizado como explícito porque é intermediário entre a representação procedimental e os conhecimentos declarativos verbalizados, uma vez que as informações externas passam a ser manipuladas pelo aprendiz de maneira não consciente e, por isso, não as possa verbalizar. Em outras palavras, as representações E-i apresentam conexões explicitamente definidas, mas que ainda não estão diretamente acessíveis à consciência e, por isso, o aprendiz nesse nível apresenta erros em suas produções.

Explicitação Secundária (E-ii): as representações desse nível são produtos de uma segunda redescrição, o que delimita os níveis primário e secundário de explicitação. Essa segunda redescrição possibilita o acesso consciente de maneira não restrita ao código linguístico, porém sem expressividade verbal. Karmiloff-Smith (1994, p. 43) esclarece que há “representações espaciais, cinestésicas ou de outro tipo codificadas de modo não linguístico” e que são acessíveis à consciência. Deste modo, as representações do aprendiz ainda não são verbalizadas, mas são conscientes, de modo que elas estão acessíveis à reflexão no instante de produção, ou seja, no momento atual de utilização e, por isso, o aprendiz não apresenta erros nesse nível (OLIVEIRA, 2009).

Explicitação Terciária (E-iii): nesse último nível, a redescrição representacional ocorre para traduzir as representações E-ii de um código para outro. Diferentes códigos estão envolvidos no processo de tradução, no entanto, códigos linguísticos têm posição de destaque dentre os demais na redescrição E-iii por possibilitarem a explicitação do conhecimento metacognitivo de forma verbalizável (KARMILOFF-SMITH, 2010).

É somente nesse último nível,

[...] que múltiplas representações do mesmo conhecimento em diferentes códigos conectam-se de forma explícita através de um código comum. A conexão de múltiplas representações de conhecimentos equivalentes entre diferentes códigos dá maior flexibilidade ao sistema cognitivo humano (Ibid., 2010, p. 420).

	Nível Implícito (I)	Nível Explícito 1 (E-i)	Nível Explícito 2 (E-ii)	Nível Explícito 3 (E-iii)
Erros	Não	Sim	Não	Não
Consciência	Não	Não	Sim	Sim
Verbalização	Não	Não	Não	Sim
	<i>Natureza epilinguística</i>		<i>Natureza metalinguística</i>	

QUADRO 1 – Aspectos de cada nível do Modelo de Redescrição Representacional, adaptado de Oliveira (2009, p. 56).

No nível E-iii, as representações são recodificadas de maneira que facilmente podem ser traduzidas em linguagem verbal (OLIVEIRA, 2009), e é a capacidade de verbalização que manifesta o acesso consciente ao conhecimento. Atinge-se, dessa forma, um caráter metacognitivo e verbalizável do conhecimento e, portanto, “uma maior flexibilidade ao sistema cognitivo humano” (AUGÉ, 2014, p. 37).

No Quadro 1, Oliveira (2009) resume aspectos dos níveis propostos no modelo teórico de Redescrição Representacional:

O quadro mostra dois níveis que representam as explicitações progressivamente conscientes de representações linguísticas do aprendiz, E-ii e E-iii, em que emergem as suas atividades metacognitivas (OLIVEIRA, 2009). Os níveis inferiores são de natureza epilinguística, ou seja, correspondem a atividades não conscientes, manifestadas de maneira habitual e ordenada pelo locutor (Ibid.).

Apesar de o Modelo de Redescrição Representacional ter sido elaborado para o campo da Linguagem, Karmiloff-Smith (1994) defende sua extensão à campos não linguísticos de mudança cognitiva, podendo ser aplicado a domínios da Física, da Matemática e da Psicologia. Será aos domínios matemático e científico que passaremos a nos dedicar a partir desse ponto, buscando estabelecer relações entre pressupostos teóricos amplamente difundidos nessas duas áreas do conhecimento, com as apresentações até então promovidas.

Conceitualização e relações entre forma operatória e forma predicativa do conhecimento

Na Teoria dos Campos Conceituais (VERGNAUD, 2008; 2009; 2017), a qual é amplamente contemplada em pesquisas da área de Educação Matemática e Ensino de Ciências, encontramos a menção a duas formas de conhecimento relacionadas à conceitualização, a forma operatória e a forma predicativa. A conceitualização é entendida como “a identificação dos objetos do mundo, de suas propriedades, relações e transformações, quer esta identificação resulte de uma percepção direta ou quase-direta, ou de uma construção” (Ibid., 2008, p. 40).

Em comparação com as discussões anteriores, entendemos que essa definição de conceitualização indica que ela tem origem em percepções e informações exógenas que são codificadas pelo aprendiz e, após passar por processamento cognitivo, responsável pelos reconhecimentos de relações e realização de transformações sobre essas percepções e informações, o estudante atinge a conceitualização. A partir do momento em que há tomada de consciência a respeito de todo esse processo que culminou na conceitualização, atinge-se o conhecimento metacognitivo.

Segundo Vergnaud (2017), o aprendiz pode expressar conhecimentos a partir do que ele fala (forma predicativa) e a partir do que faz diante de uma situação³ (forma operatória) e que, geralmente, esta antecede aquela, o que justifica observações tão comuns, sobretudo, em sala de aula, de que o sujeito muitas vezes sabe o que fazer diante de uma determinada situação, mas não sabe se referir a respeito do que faz e do porquê o faz. Para o autor (ibid.), quando o aprendiz enfrenta uma situação, como uma tarefa acadêmica, ele pode percorrer três níveis de aprendizagem: i) memorizar regras-de-ação, permanecendo na perspectiva do “como fazer”; ii) ensaiar proposições, formulando hipóteses a respeito de

³ Considerando o contexto educacional, a ideia de *situação* é entendida no sentido de *tarefa* referente a conhecimentos específicos a um campo conceitual, se caracterizando como condição para que o estudante estruture suas ações e elabore esquemas de pensamento (VERGNAUD, 2017).

“porquê fazer”; e, iii) conceitualizar, tomando consciência do porquê da utilização do esquema com o qual se enfrenta a situação.

O termo *esquema* é herdado de estudos de Piaget, orientador de Vergnaud durante seu doutoramento. Um esquema é entendido por Vergnaud como estrutura de operações e de pensamento que se adapta às situações, ou seja, corresponde a “uma organização invariante da conduta diante de uma classe de situações dadas” (VERGNAUD, 2017, p. 18). O autor (Ibid.) destaca que os esquemas são compostos por conhecimentos-em-ação, também denominados de *invariantes operatórios*, que são constituídos por *conceitos-em-ação* e *teoremas-em-ação*. Os primeiros são responsáveis por captarem as informações pertinentes de uma situação, bem como por selecionar e/ou elaborar os teoremas-em-ação. Estes, por sua vez, são caracterizados como proposições tomadas como verdadeiras pelo aprendiz, ainda que, muitas vezes, sejam falsas, conduzindo-o ao erro. Tais conceitos e teoremas são mobilizados durante a ação do estudante diante de uma situação (daí seus nomes), e funcionam como “regras” que conduzem o estudante à resolução de uma determinada situação.

Os invariantes operatórios permanecem, em geral, implícitos e são responsáveis por orientar a forma operatória do conhecimento. No entanto, indícios de invariantes operatórios (significados) podem ser explicitados por meio de diversificados sistemas semióticos de representação (significantes), como gráficos, expressões algébricas, diagramas, linguagem natural (oral ou escrita), etc. Na medida em que o aprendiz tenta explicitar seus invariantes operatórios, gradativamente as relações entre significantes e significados vão sendo refinadas.

Convergindo com pontos de vista de Karmiloff-Smith (1994; 2010), para Vergnaud (2017) a maior parte da conceitualização acontece de maneira não consciente e, quanto à parte consciente, nem sempre ela é formulada e expressa. Primeiro, o aprendiz constrói invariantes operatórios, que alimentam conhecimentos explícitos e, assim, conduz o aprendiz a construir, gradativamente, invariantes predicativos (VERGNAUD, 2017). Tal afirmação justifica a importância de analisar invariantes operatórios de estudantes, afinal, eles são fundamentais para que ocorra a conceitualização e, no nosso entendimento, para que se atinja o conhecimento metacognitivo.

Ao encontro também de posições de Karmiloff-Smith (1994; 2010), Vergnaud (2009) menciona que estratégias, procedimentos, percepções e inferências relacionadas a uma determinada situação têm raízes profundas nas representações. São estas as responsáveis pela produção e organização de invariantes operatórios e esquemas subjacentes ao conhecimento operatório do estudante e, ainda, é por meio de representações que se explicita o conhecimento na forma predicativa.

A respeito das representações, Vergnaud (2009) afirma que existem sistemas semióticos diversos envolvidos nas operações de pensamento do aprendiz, que apresentam relações entre si e com o que representam. Isso leva à afirmação de que a conceitualização vai além da representação do referente, mas depende da passagem “de uma representação à outra e a ela retornar” (ibid., p. 301), de maneira simultânea e oportuna. Tal passagem depende de invariantes operatórios, uma vez que são eles que estabelecem os elos entre representações e permitem a expressão de indícios de esquemas mentais por meio de representações.

Para a Teoria dos Campos Conceituais, a aprendizagem em um campo conceitual depende que o objeto de conhecimento, inicialmente compreendido como instrumento

operacional, se transforme em instrumento de pensamento e, para isso, é imprescindível que o estudante seja capaz de explicar qualitativamente a situação que enfrenta, os procedimentos que utiliza e os resultados que obtém.

Até esse ponto, tecemos considerações que tornaram evidente as atribuições das representações, sejam elas mentais ou externas, como imprescindíveis para as transições de conhecimentos implícitos para explícitos, e de formas operatórias para predicativas do conhecimento, em que ambos os pares estão atrelados à aprendizagem conceitual (VERGNAUD, 2008; 2009; 2017) e à metacognição (KARMILOFF-SMITH, 1994; 2010), evidenciando que atividades de visualização, raciocínio e comunicação se estabelecem por meio de representações.

Reconhecendo a relevância das representações para o processamento cognitivo, a conceitualização e a metacognição, buscamos na linha de pesquisa da Diversidade Representacional, melhor compreender características e atribuições das representações para o ensino e, sobretudo, para a aprendizagem matemática e científica.

Diversidade representacional e relações entre representação e aprendizagem em matemática e ciências

Retomando os níveis do Modelo de Redescrição Representacional, foi discutido que o que delimita a transição de um nível de explicitação para outro é a redescrição, ou seja, a re-representação que inicia na informação procedimental do primeiro nível. Acrescentando pressupostos da Teoria dos Campos Conceituais, foi apresentado que operações de pensamento dependem da passagem simultânea entre representações. Tais colocações vão ao encontro de estudos realizados no campo da Diversidade Representacional que, referindo-se ao conhecimento matemático e científico, defendem que a atividade de representação na aprendizagem conceitual não é um processo trivial e espontâneo para grande parte dos estudantes, mas é desafiador para eles realizarem trocas representacionais, sendo esta uma atividade fundamental para o pensamento (LABURÚ; SILVA, 2011).

São trocas representacionais que permitem a construção de significados a partir do estabelecimento de relações entre diferentes representações de um mesmo referente. Mas, para realizar satisfatoriamente trocas representacionais, o estudante precisa realizar atividades de *tradução* e de *integração*. A primeira atividade consiste na capacidade de reconhecer as ligações conceituais entre representações (PRAIN; WALDRIP, 2006) enquanto que, a segunda, compreende a capacidade de incorporar em um todo consciente as significações inerentes às diversificadas representações de um mesmo objeto.

Além dessas duas atividades, de tradução e de integração, a compreensão depende da atividade de coordenação entre diferentes registros de representação semiótica (DUVAL, 2009), que são produções externas que satisfazem três atividades cognitivas: de formação de uma representação identificável, de tratamento (transformação interna) de um registro de representação e de conversão (transformação externa) entre registros de representação (ibid., 2012). Em direção a defesas da Teoria dos Campos Conceituais, além de servir para atividades de pensamento, registros de representação semiótica são um meio de o sujeito exteriorizar indícios de representações mentais, tornando-as acessíveis a um observador externo (ibid., 2009).

São essas as atividades responsáveis pelas funções de expressão, transformação e objetivação do conhecimento, em que a expressão diz respeito à manifestação explícita da significação do conceito inerente à representação, a transformação corresponde às operações internas e externas dos registros de representações e, por fim, a objetivação compreende o processo que envolve a passagem da representação de um estado não consciente para a tomada de consciência (LABURÚ; SILVA, 2011). Todas essas funções convergem com posições do Modelo de Redescrição Representacional e a Teoria dos Campos Conceituais, pois a explicitação do conhecimento acontece a partir de representações e ela ocorre quando são atribuídas significações a tais representações. Quanto à transformação, essa pode ser interna ou externa ao registro de representação, e compreende a atividade de re-representar um mesmo referente. A respeito da objetivação, ela está atrelada à tomada de consciência, a qual advém da atividade de passagem inter e intrarepresentacional.

Prain e Waldrip (2006) defendem que a aprendizagem científica (e aqui estendemos para a aprendizagem matemática) consiste em um desafio representacional, que vai além de recorrer às representações para promover a aquisição de competências, mas em apoiar-se nelas para explicar e negociar entendimentos que delas emergem. Afinal, ao negociar questões representacionais advindas do desafio de transformar registros e re-representar o mesmo conceito em diferentes formas e modos representacionais, o aprendiz tem oportunidade de integrar tais representações em um discurso sólido, coerente e compreensível, além de manifestar melhor entendimento conceitual do que aquele que não é submetido a esse processo de negociação (LABURÚ; SILVA, 2011).

Diante do exposto, tem-se que a pluralidade de representações empenha um papel fundamental para ocorrência de processos operatórios, cognitivos e metacognitivos na aprendizagem matemática e científica. Isto porque a compreensão do estudante é dependente da generalização e transformação de representações contidas em diferentes modos e formas, assim como, de reflexões metacognitivas mediadas por diferentes processos linguísticos (PRAIN; WALDRIP, 2006). Diante disso, o estudante torna-se habilitado para produzir e explicitar um discurso genuíno e coerente, produto da integração e coordenação de múltiplas representações (LABURÚ; SILVA, 2011).

As discussões promovidas até aqui, permitiram estabelecer as relações entre o Modelo de Redescrição Representacional, a Teoria dos Campos Conceituais e a linha de pesquisa de Diversidade Representacional. Das relações estabelecidas construímos o instrumento analítico que passaremos a agora apresentar.

Proposta de instrumento analítico

A partir da consideração de que a conceitualização e a metacognição em Matemática e Ciências compreendem desafios representacionais para realizarem operações ou para explicitar conhecimentos, e reconhecendo a relevância do Modelo de Redescrição Representacional (KARMILOFF-SMITH, 1994; 2010) para compreender a conscientização progressiva do estudante a respeito de processos cognitivos e executivos, integramos a este modelo pressupostos da Teoria dos Campos Conceituais e da Diversidade Representacional com o objetivo de readequar o quadro teórico fornecido por Karmiloff-Smith (1994; 2010) de maneira a atender às especificidades representacionais do conhecimento matemático e científico.

Para analisar os níveis de explicitação de estudantes em aprendizagem em Ciências e Matemática, consideramos que o quadro fornecido por Karmiloff-Smith (1994; 2010) precisa ser adequado de maneira a contemplar, precisamente, a relevância das representações externas, tanto para o desenvolvimento da forma operatória, quanto da forma predicativa do conhecimento. Em ambas as formas de conhecimento, indicações de redescrições representacionais podem ser inferidas a partir de representações externas e, tais indicações, podem ser compreendidas a partir dos tipos de transformações que o estudante realiza sobre representações e podem ser modelados na forma de invariantes operatórios do tipo teoremas-em-ação.

Na sequência, a Figura 2 mostra um diagrama que ilustra a nossa proposta de adequação da teoria de Karmiloff-Smith (1994; 2010) para aplicação nas áreas de Educação Matemática e Ensino de Ciências:

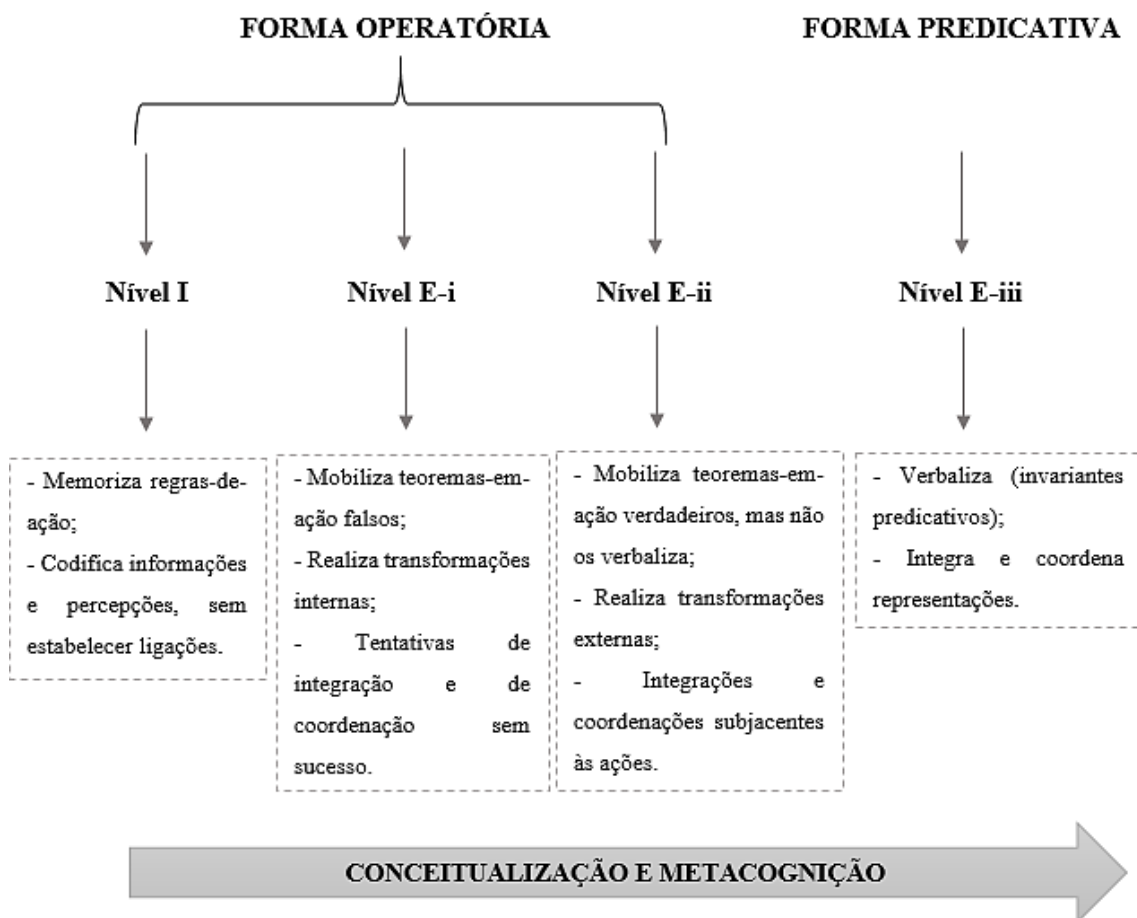


Figura 2 – Instrumento Analítico, adaptado do Modelo de Redescrição Representacional

Cada nível apresentado no instrumento analítico que elaboramos com base no Modelo de Redescrição Representacional, integram às descrições do modelo original pressupostos da Teoria dos Campos Conceituais, sobretudo a respeito das ligações entre a forma operatória e a forma predicativa do conhecimento, o papel inferencial de invariantes operatórios e invariantes predicativos, bem como da Diversidade Representacional no que tange às atribuições das representações semióticas para a apreensão conceitual, metacognição e explicitação do conhecimento.

No primeiro nível (I), além da descrição já fornecida por Karmiloff-Smith (1994; 2010) em seu modelo original, acrescentamos que o estudante, em aprendizagem matemática ou científica específica, ao lidar com determinada tarefa, manifestará estar nesse nível quando o pesquisador ou professor evidenciar que o estudante apenas memorizou regras-de-ação e, portanto, que acumulou e codificou sequencialmente e sem vinculação informações e percepções externas, geralmente oriundas da própria instrução que recebeu em sala de aula. As ações do estudante diante dessa tarefa podem, então, ser entendidas como reproduções mecânicas, em que ele não é capaz de manifestar qualquer tipo de compreensão a respeito do que faz e do porquê faz. Uma situação real seria ele resolver um problema matemático e associar a resolução desse problema a algum exemplo já resolvido pelo professor e, em seguida, aplicar algoritmos automaticamente sem refletir e sem ser capaz de verbalizar por que os utiliza e qual o significado do resultado obtido para o problema. Portanto, nesse nível, não há consciência dos processos executivos e cognitivos e, assim, não há verbalização. Uma vez que ações mecânicas são caracterizadas como reproduções de informações e regras acumuladas, não nos referimos a erros em suas produções, uma vez que, nesse nível, não há formulação de teoremas-em-ação que orientem suas ações.

No nível E-i, primeiro nível de explicitação, o estudante manifesta primeiros ensaios de proposições e formulação de hipóteses a respeito do que faz e do porquê o faz. Tais proposições constituem o que Vergnaud (2008; 2009, 2017) denomina de teoremas-em-ação, que são regras-de-ação formuladas pelo estudante e que podem ser inferidas por um observador externo, como um professor, a partir das ações que mobiliza ao lidar com uma tarefa fornecida pelo professor. Nesse nível, os teoremas-em-ação formulados não são verdadeiros, o que conduzem o aprendiz ao erro na resolução da tarefa proposta.

A formulação de teoremas-em-ação falsos é um dos fatores que caracteriza que nesse nível o estudante ainda não tem consciência de seus processos executivos e cognitivos e, portanto, ainda não é capaz de explicitar coerentemente suas ações e conhecimentos. Outro fator associado a esse nível de explicitação é que o estudante pode ser capaz de realizar transformações internas nas representações de um mesmo registro semiótico e realizar tentativas, ainda que sem sucesso, de traduzir representações distintas. São exatamente esses dois fatores que nos permitem categorizar um estudante em uma fase de explicitação, pois ainda que ele não consiga verbalizar seus conhecimentos e não tenha tomado total consciência de seus processos cognitivos e executivos, as tentativas de formulação de teoremas-em-ação e de realização de atividades de transformação inter e intrarepresentacionais são fundamentais para a explicitação e para que, progressivamente, atinja níveis mais elevados de conceitualização e metacognição.

O terceiro nível (E-ii) também é caracterizado pela formulação de teoremas-em-ação e atividades de tradução (transformações internas e externas) e integração. Porém, nesse nível, o estudante tem consciência de seus processos cognitivos e executivos e, por isso, os teoremas-em-ação manifestados por meio de suas ações são verdadeiros, conduzindo-o ao sucesso na resolução de uma tarefa. Ora, o que reforça essa formulação de teoremas-em-ação verdadeiros é exatamente a capacidade de integrar e realizar transformações de tipo interna e externa em diferentes representações de um mesmo referente e, inclusive, já pode ser capaz de realizar a coordenação, simultânea e oportuna, entre diferentes registros de representação. No entanto, nesse nível, o estudante ainda manifesta domínio apenas na

forma operatória do conhecimento, pois ainda não é capaz de verbalizar suas ações e conhecimentos.

No último nível (E-iii), além das características do nível anterior, o estudante é capaz de coordenar diferentes registros de representação e de integrá-los em um discurso sólido, coerente e genuíno, sendo capaz de fornecer explicações a respeito do que faz e do porquê o faz. Seus teoremas já não se constituem apenas como invariantes operatórios, mas também como invariantes predicativos e, portanto, a explicitação nesse nível se dá por meio da linguagem verbal, além de por meio de outros sistemas semióticos de representação, de maneira espontânea.

Considerações finais

Apresentamos nesse trabalho um instrumento analítico proposto com o intuito de investigar níveis de explicitação atingidos por estudantes em aprendizagem científica e matemática. Além da apresentação do instrumento analítico, abordamos a respeito de leituras convergentes entre os referenciais teóricos que fundamentaram esse estudo: o Modelo de Redescritção Representacional (KARMILOFF-SMITH, 1994; 2010), a Teoria dos Campos Conceituais (VERGNAUD 2008; 2009; 2017) e a Diversidade Representacional (LABURÚ; SILVA, 2011; PRAIN; WALDRIP, 2006).

O instrumento analítico é uma adaptação do Modelo de Redescritção Representacional, proposto por Karmiloff-Smith (1994; 2010), com o objetivo de analisar e avaliar níveis de explicitação de estudantes no campo da Linguagem. Reconhecendo o potencial desse modelo para aplicação em outros domínios, particularmente aos da Matemática e das Ciências, porém partindo do pressuposto de que esses dois domínios são circunstanciados por desafios representacionais que abrangem outros sistemas simbólicos, além daqueles exigidos na aprendizagem em Linguagem, como, por exemplo, representações gráficas e algébricas, é que buscamos na Diversidade Representacional (LABURÚ; SILVA, 2011; PRAIN; WALDRIP, 2006; DUVAL, 2009; 2012) subsídios para complementar as descrições de cada nível de explicitação, de modo a atender às especificidades das aprendizagens matemática e científica. Adicionalmente, sabendo que boa parte das explicitações de estudantes nessas áreas permanecem subjacentes às suas ações, ou seja, em seus procedimentos, buscamos na Teoria dos Campos Conceituais (VERGNAUD 2008; 2009; 2017) uma alternativa para descrever inferências a respeito desses conhecimentos inerentes às suas ações, manifestados via representações: os invariantes operatórios, sobretudo, os do tipo teoremas-em-ação.

Em suma, o instrumento analítico proposto parte da perspectiva de que, durante os primeiros envolvimento do estudante com o objeto de estudo, que tem como ponto de partida percepções e codificações desse objeto, o processamento cognitivo é basicamente executivo e, portanto, o conhecimento é considerado como operatório e implícito. Com a progressiva tomada de consciência a respeito desse processamento cognitivo, o conhecimento operatório começa a ser explicitado por meio de sistemas semióticos cada vez mais complexos e abstratos, até atingir o nível da forma predicativa do conhecimento, caracterizado pela explicitação verbal, considerada como uma forma organizada, coerente e genuína de o aprendiz expressar o que faz e porquê o faz. A progressão entre os diferentes níveis de explicitação depende de ligações conceituais inter e intrarepresentacionais, bem

como do refinamento de invariantes operatórios que, de certa forma, estão intrinsecamente relacionados às ligações representacionais.

Conclui-se que as atividades conceituais e metacognitivas em Ciências e Matemática são dependentes de atividades semióticas e, por esse motivo, as representações precisam se situar no centro das análises dos processos de aprendizagem. Quanto à explicitação, concordamos com Muniz (2009) que a identificação, a descrição e a análise dessa atividade é essencial para que o professor conceba sua mediação, ainda que tudo isso demande dele muito esforço interpretativo e inferências. Além de para fins instrucionais, a explicitação é benéfica para a aprendizagem do estudante, pois ao ser incentivado a explicitar seus conhecimentos e explicar suas próprias produções, ele é conduzido a “não só refletir como também tomar consciência dos caminhos e descaminhos que percorreu para produzir o procedimento” (ibid., p. 50), e são exatamente esses atos de reflexão e de tomada de consciência que caracterizam os processos de conceitualização e metacognição.

Enfim, o estudo procura oferecer ao pesquisador e ao professor uma proposta de instrumento analítico para avaliar aprendizagens construídas em curto prazo por estudantes, permitindo que se identifiquem de antemão problemas com a apropriação do conhecimento científico e matemático, sendo possível rever estratégias educacionais para superá-los. Com o instrumento analítico indicado, mediante as discussões promovidas neste trabalho, de forma alguma objetivamos fornecer uma visão simplista do processo de aprendizagem, mas prover um instrumento que permita avaliar estudantes em construção de suas aprendizagens e suas dificuldades em um determinado instante do trabalho instrucional em Ciências e Matemática.

Como parte de uma investigação empírica mais ampla com estudantes de Ensino Médio, resultados preliminares que utilizam o instrumento analítico vêm revelando potencial para atingir os objetivos para os quais foi aqui arquitetado, mas que serão apresentados em um próximo trabalho.

Referências

- BROWN, A. L. Metacognition, executive control, self-regulation and other more mysterious mechanisms. In: WEINERT, F. E.; KLUWE, R. (Ed.), **Metacognition, motivation and understanding**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1987. p. 01-16.
- DUNLOSKY, J.; METCALFE, J. **Metacognition: a textbook for cognitive, educational, life span and applied psychology**. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, 2009.
- DUVAL, R. **Semiósis e pensamento humano – registros semióticos e aprendizagens intelectuais**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.
- DUVAL, R. Registros de representação semiótica e funcionamento cognitivo do pensamento. Trad.: Moretti, M. T. **Revemat**, Florianópolis, v.7, n.2, p. 266-297, 2012.
- ERTMER, P.; NEWBY, T. The expert learning: strategies, self-regulated and reflective. **Instructional Science**, v. 24, p. 01-24, 1996.
- FERNÁNDEZ-DUQUE, D.; BIRD, J. A.; POSNER, M. I. Executive attention and metacognitive regulation. **Consciousness and Cognition**, v. 9, p. 288-307, 2000.

- FLAVELL, J. H.; WELLMAN, H. M. Metamemory. In: KAIL, R. V.; HAGEN, J. W. (Orgs.). **Perspectives on the development of memory and cognition**. Hillsdale: Erlbaum, 1977. p. 3-33.
- FLAVELL, J. H. Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. In: PARKE, H. (Org.). **Contemporary readings in child psychology**. New York: McGraw Hill, 1981. p. 165-169.
- FLAVELL, J. H. Developpment métacognitif. In: BIDEAUD, J. Bideaud; RICHELLE, M. (Orgs.). **Psychologie développementale: Problèmes et réalités**. Bruxelles: Pierre Mardaga, 1985. p. 29-41.
- FLAVELL, J. H. Speculations about the nature and development of metacognition. In: WEINERT, F.; KLUWE, R. (Ed.), **Metacognition, motivation and understanding**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1987. p. 21-29.
- HIEBERT, J.; CARPENTER, T. P. Learning and teaching with understanding. In: GROUWS, D. A. (Ed.). **Handbook of research on mathematics teaching and learning: A project of the National Council of Teachers of Mathematics**. New York: MacMillan, 1992. p.65-97.
- JOU, G. I.; SPERB, T. M. A Metacognição como estratégia reguladora da aprendizagem. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 19, n. 2, p. 177-185, 2006.
- KARMILOFF-SMITH, A. **Más allá de la modularidad: la ciencia cognitiva desde la perspectiva del desarrollo**. Versión española de: Juan Carlos Gómez Crespo e María Núñez Bernardo. Madrid: Alianza Editorial, 1994.
- KARMILOFF-SMITH, A. Dos meta-processos ao acesso consciente: evidência a partir de dados metalinguísticos e de reparo produzidos por crianças. **Cadernos de Educação**, Pelotas, v. 35, p. 407-483, 2010.
- LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. Multimodos e múltiplas representações: fundamentos e perspectivas semióticas para a aprendizagem de conceitos científicos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.16, n.1, p. 7-33, 2011.
- MUNIZ, C. A. O conceito de "esquema" para um novo olhar para a produção matemática na escola: as contribuições da Teoria dos Campos Conceituais. In: BITTAR, M.; MUNIZ, C. A. (Org.). **A aprendizagem matemática na perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais**. Curitiba: Editora CRV, 2009. p. 37-52.
- OLIVEIRA, R. M. L. **O que revelam os textos das crianças: atividades metalinguísticas na escrita infantil**. 2009. 213 f. Tese (Doutorado em Linguística) – Universidade Federal do Ceará, Ceará. 2009.
- PRAIN, V.; WALDRIP, B. Na exploratory study of teacher's and students' use of multi-modal representations of concepts in primary Science. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v.28, n.15, p.1843-1866, 2006.
- RIBEIRO, C. Metacognição: um apoio ao processo de aprendizagem. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v.16, n.1, p. 109-116, 2003.
- VALENTE, M. O.; et al. A metacognição. **Revista de Educação**, v.1, n.3, p. 47-51, 1989.
- VERGNAUD, G. **Atividade humana e conceitualização**. Porto Alegre: Comunicação Impressa, 2008.

VERGNAUD, G. **A criança, a matemática e a realidade**: problemas do ensino da matemática na escola elementar. Curitiba: Ed. Da UFPR, 2009.

VERGNAUD, G. O que é aprender? Por que Teoria dos Campos Conceituais? In: GROSSI, E. P. (Org.). **O que é aprender? O iceberg da conceitualização Teoria dos Campos Conceituais TCC**. Porto Alegre: GEEMPA, 2017.