



Artigo

Potencialidades do uso de animações em *stop motion* para investigação de modelos mentais sobre conceitos químicos

Potentialities of using *stop motion* animations to investigate mental models of chemical concepts

Paola Gimenez Mateus¹, Gustavo Bizarria Gibin², Luiz Henrique Ferreira³

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Bauru-SP, Brasil,
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Presidente Prudente-SP,
Brasil, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos-SP, Brasil

Resumo

No presente trabalho apresentamos uma discussão acerca das implicações da teoria dos modelos mentais nos processos de ensino e aprendizagem em Química, com a finalidade de discorrer sobre o uso de animação em *stop motion* como um instrumento de coleta de dados para se investigar as representações mentais dos sujeitos sobre conceitos químicos, em especial sobre seu caráter dinâmico. Para atingir os objetivos mencionados no presente trabalho, buscamos relacionar a teoria dos modelos mentais e suas implicações para os processos de ensino e aprendizagem em Química, com a proposta da triangulação dos três diferentes níveis representacionais da Química (submicroscópico, simbólico e macroscópico), que são necessários para a compreensão dessa Ciência. Destacamos também, que tal articulação foi pautada nas principais dificuldades associadas aos processos de ensino e aprendizagem em Química e pensada na particularidade envolvendo a dinamicidade do nível atômico-molecular. As discussões realizadas envolvendo os diferentes referenciais utilizados nos possibilitaram discutir sobre as potencialidades associadas ao uso do *stop motion* como um instrumento de investigação dos modelos mentais sobre conceitos químicos, em destaque para o fato de se tratar de uma técnica de fácil aplicação, de baixo custo e que permite a representação dinâmica pelos alunos dos fenômenos químicos considerando o nível submicroscópico.

Abstract

In this paper we present a discussion about the implications of the theory of mental models in the teaching and learning process in Chemistry, with the purpose of discussing

¹Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciências da UNESP em Bauru, SP. Mestre em Química pela UFSCar. Membro do grupo de pesquisa “Rede de Inovação e Pesquisa em Ensino de Química”. ORCID id: <https://orcid.org/0000-0003-3555-0670> E-mail: paolagimenezm@gmail.com

²Professor assistente doutor da UNESP em Presidente Prudente, SP. Doutor em Ciências pela UFSCar. Líder do “Grupo de Pesquisa em Metodologias em Ensino de Ciências”. ORCID id: <https://orcid.org/0000-0001-9473-255X> E-mail: gustavo.gibin@unesp.br

³Professor associado IV do Departamento de Química da UFSCar em São Carlos, SP. Doutor em Química pela UNICAMP. Líder do grupo de pesquisa “Laboratório de Ensino e Aprendizagem de Química”. ORCID id: <https://orcid.org/0000-0002-5737-9723> E-mail: ferreiraufscar@gmail.com

the use of *stop motion* animation as a data collection instrument to investigate the students' mental representations about chemical concepts, especially about their dynamic character. To achieve the objectives mentioned in the present work, we seek to relate the theory of mental models and their implications for the teaching and learning processes in chemistry, with the proposal of the triangulation of the three different representational levels of Chemistry (submicroscopic, symbolic and macroscopic), which are necessary to understand this Science. It is also noteworthy that this articulation was based on the main difficulties associated with the teaching and learning processes in Chemistry and was thought of the particularity involving the dynamics of the atomic-molecular level. The discussions carried out involving the different references used allowed us to discuss the potentialities associated with the use of *stop motion* as an instrument for investigating mental models on chemical concepts, highlighting the fact that it is a technique that is easy to apply, low cost and that allows the dynamic representation of chemical phenomena considering the submicroscopic level.

Palavras-chave: Pesquisa e Educação, Tecnologia e Educação, Psicologia Cognitiva, Avaliação da Aprendizagem.

Keywords: Educational Research, Educational Technology, Cognitive Psychology, Evaluation methods.

1. Introdução

De acordo com a Ciência Cognitiva, as pessoas não captam diretamente o mundo externo por meio de estímulos, mas processam e elaboram as informações deste exterior por meio da construção de representações internas em suas mentes (PALMERO, 2008).

Johnson-Laird (1983) propõe que existem pelo menos três tipos de representações internas (ou mentais): as proposições, os modelos mentais e as imagens. No entanto, neste trabalho a discussão será realizada sobre os modelos mentais pois, segundo o autor, é por meio deles que as pessoas raciocinam, se tratando de representações mentais de alto nível que estão no cerne psicológico da compreensão.

Os modelos mentais podem ser compreendidos como representações analógicas que existem na mente dos indivíduos, cuja finalidade é caracterizar as formas pelas quais estes concebem os sistemas físicos e estados de coisas abstratas com as quais interagem. Portanto, segundo Borges (1999), pensar envolve tanto a construção quanto o uso de modelos.

No contexto educacional, tais sistemas e/ou estados de coisas podem ser os conceitos científicos com os quais os discentes interagem. Logo, na sala de aula, modelos mentais de fenômenos químicos são construídos e utilizados a todo momento pelos alunos para a realização das atividades educacionais.

Portanto, investigar modelos mentais não é uma tarefa trivial, por isso Gibin (2013) aponta a importância do uso e da combinação de diferentes instrumentos de coleta de dados que permitam o acesso indireto a essas representações internas, por meio dos modelos expressos pelos estudantes. Dentre os principais instrumentos utilizados para o levantamento dos modelos dos alunos, Moreira (1996) destaca o uso de manifestações escritas ou orais.

O uso de dados obtidos apenas por intermédio de caneta e papel, ou de forma oral, no contexto de pesquisa sobre modelos mentais de conceitos químicos, pode apresentar limitações na compreensão dos modelos expressos.

Os modelos mentais nunca são acessados de forma direta pelo pesquisador, pois estão na mente das pessoas, por isso é importante conhecer e combinar instrumentos de coleta para triangular os dados e compreender melhor os modelos expressos, considerando além dos objetivos, as particularidades de cada pesquisa.

De acordo com Rudio (1986, p. 114) “chama-se de instrumento de pesquisa o que é utilizado para a coleta de dados”. Cabe destacar que as animações podem ser utilizadas tanto como recurso didático, o que é mais frequente, como instrumento de pesquisa. O que irá definir a função das animações é a finalidade daquele(a) que a utiliza: em projetos de ensino, normalmente as animações apresentam modelos didáticos conceituais, já que têm como objetivo apresentar o que pode ser sustentado por teorias, conforme defende Bunge (1974). Por outro lado, quando uma animação é produzida pelo aprendiz como forma de expressar sua compreensão a respeito de algum fenômeno, por solicitação do pesquisador, a mesma será considerada um instrumento de pesquisa. Neste último caso, concordamos com Ribeiro (2005, p. 85), que define instrumento de pesquisa como “representações (imagens) da informação, que servem de intermediárias entre os pesquisadores e o produto informacional que é procurado”. Complementando, Gil (2010) destaca que um instrumento de coleta de dados em pesquisas deve ser relacionado com as hipóteses de trabalho e os objetivos da pesquisa. Portanto, ao investigar modelos mentais dinâmicos ou cinemáticos de estudantes sobre conceitos químicos representados em nível submicroscópico, as animações em *stop motion* permitem cumprir os objetivos de pesquisa, além das hipóteses de pesquisa sobre esse tema.

Trabalhos desenvolvidos com a colaboração dos presentes autores têm revelado potencialidades no uso de animações em *stop motion* para investigar os modelos mentais dinâmicos expressos em nível submicroscópico (GIBIN, 2009, GIBIN; FERREIRA, 2009, MATEUS, 2019, MATEUS; FERREIRA, 2019).

Diante do exposto, nosso objetivo é discorrer sobre as contribuições da teoria dos modelos mentais para os processos de ensino e aprendizagem em Química, com a finalidade de evidenciar a importância de se investigar os modelos mentais dos estudantes, destacando para isso o uso de animações em *stop motion*.

Assim, para atingir aos objetivos propostos, inicialmente apresentamos uma discussão acerca da teoria dos modelos mentais elaborada por Johnson-Laird (1983), bem como interpretações realizadas por Moreira (1996, 2011). Na sequência, buscamos estabelecer uma relação entre este tipo de representação mental com a compreensão de conceitos químicos baseada na operação e transição entre os três níveis representacionais de Johnstone (1993, 2000), com a finalidade de fundamentar nossas considerações em prol da utilização de *stop motion* para a investigação da aprendizagem de conceitos químicos.

Por fim, com base na fundamentação teórica construída durante o texto, discursamos sobre a potencialidade do uso da técnica de *stop motion* na investigação desses modelos mentais.

Consideramos importante destacar que as discussões aqui propostas se baseiam principalmente nos resultados de pesquisas realizadas pelo grupo do qual os autores do presente trabalho fizeram parte, ainda que apresentamos outros autores. No entanto, poucos trabalhos são encontrados na literatura

envolvendo investigações de modelos mentais sobre conceitos químicos, tendo como instrumento de coleta de dados o uso de animações. Assim, justificamos a importante contribuição do presente texto para investigações relacionadas à aprendizagem em Química.

2. Modelos mentais

A partir da década de noventa, as pesquisas na área de Ensino de Ciências se orientaram em buscar a compreensão de como ocorrem as representações internas, o que inclui os modelos mentais, adotando como referenciais as teorias construtivistas e cognitivistas (MOREIRA, 2011).

De maneira simplista, os modelos mentais existem na mente das pessoas e são utilizados com a finalidade de caracterizar as formas pelas quais elas compreendem os sistemas físicos com os quais interagem (MOREIRA, 1996). Essa concepção se baseia na ideia central da Ciência Cognitiva de que os sujeitos não captam o mundo externo diretamente por estímulos, mas processam e elaboram essas informações externas, construindo representações internas (ou mentais) desse mundo.

Assim, as representações mentais atuam como “pontes” entre a mente do indivíduo e o mundo com o qual interage (PALMERO, 2008). De acordo com Johnson-Laird (1983), há três tipos de representações mentais: as proposições, os modelos mentais e as imagens. Neste trabalho serão discutidos os modelos mentais que, de acordo com Johnson-Laird (*op cit.*, p. 397), desempenham “um papel central e unificador na representação de objetos, estados de coisas e sequências de eventos”.

Os modelos mentais são representações analógicas do objeto ou da situação em si, de maneira que há uma correspondência direta entre eles com aquilo que se busca representar. Portanto, eles apresentam como finalidade a caracterização das formas pelas quais os indivíduos concebem os sistemas físicos e estados de coisas abstratas com os quais interagem (MOREIRA, 1996).

Outra característica importante dos modelos é o fato deles estarem em constante evolução (são inacabados) à medida que o indivíduo interage com tais sistemas representados e adquire conhecimentos, incorporando-os à sua estrutura mental (MOREIRA, *op cit.*). Trazendo para discussões voltadas para a sala de aula, esses sistemas podem ser compreendidos como conceitos químicos aprendidos.

Norman (1983) também propõe que os modelos mentais são incompletos; as pessoas apresentam capacidade limitada para “rodar” seus modelos; eles são instáveis, e por isso há esquecimento de detalhes e particularidades quando não são utilizados por certo tempo; não apresentam fronteiras definidas, fazendo com que conceitos semelhantes sejam confundidos; tendem a ser “não-científicos”, pois normalmente são construídos no cotidiano sem que as pessoas tenham consciência disto; tendem a ser parcimoniosos, sendo muito simplificados.

Como consequência de tais características, Moreira (1996) pontua que nas investigações envolvendo modelos mentais dos estudantes, o pesquisador deve estar preparado para se deparar, lidar e tentar compreender modelos expressos confusos, imprecisos e incompletos, não devendo esperar encontrar modelos claros, elegantes e concisos, pois geralmente eles não são.

Porém, apesar destas características, os modelos mentais devem ser funcionais, permitir a realização de inferências e previsões, pois é testando e “rodando” tais modelos que eles evoluem (MOREIRA, 1996). Também devem permitir a compreensão de eventos e fenômenos, bem como tomar decisões e controlar suas execuções (JOHNSON-LAIRD, 1983). Portanto, os modelos mentais estão intimamente e diretamente relacionados com a capacidade de compreensão e raciocínio das pessoas, se tratando dos guias dos mecanismos cognitivos geradores de explicações e descrições.

Com relação à sua constituição, Johnson-Laird (1983) sugere que os modelos são compostos por elementos básicos que o autor denomina de “*tokens*”, podendo possuir um ou mais destes elementos, e assim apresentarem diferentes níveis de complexidade. Esses “*tokens*” podem ser caracterizados, de acordo com Gibin e Ferreira (2012), como “objetos presentes em um sistema, conceitos abordados em um processo, relações espaciais, pode ser qualquer tipo de objeto presente ou de relação existente entre objetos”.

Assim, Johnson-Laird (1983) aponta que existem tipos de modelos mentais, como os temporais, cinemáticos e dinâmicos. Um modelo temporal consiste em uma série de modelos em que há relações entre os elementos espaciais ao longo do tempo, não necessariamente em tempo real. Um modelo cinemático é um modelo temporal, que é psicologicamente contínuo, semelhante a um filme que roda na mente da pessoa. E um modelo dinâmico é um modelo cinemático em que existem relações de causa e efeito entre certos elementos expressos.

Portanto, a estrutura do modelo é articulada em torno destes elementos, de suas propriedades e também entre suas relações. Logo, quando relacionados, tais elementos são organizados em uma certa estrutura (o modelo), para representar um determinado estado de coisas, como por exemplo um conceito químico.

Levando-se em consideração tais discussões envolvendo esse tipo de representação mental, fica evidenciada a importância dos modelos mentais no contexto educacional, visto que, conforme pontua Borges (1999, p. 68) “nossa habilidade em dar explicações está intimamente relacionada com nossa compreensão daquilo que é explicado, e para compreender qualquer fenômeno ou estado de coisas, precisamos ter um modelo funcional dele”.

Desse modo, no contexto educacional se espera que conforme o aprendiz interaja com determinado conceito, ele construa e reformule um modelo mental para este conceito, como será detalhado a seguir.

3. Modelos mentais e o processo de aprendizagem

Na Ciência, os modelos são peças fundamentais no processo de elaboração de uma lei ou teoria, bem como constituem um dos principais produtos elaborados neste processo. Conforme pontuam Ferreira e Justi (2008), o conhecimento científico se constrói e reconstrói por meio de modelos criados, testados, validados e utilizados como ferramentas pelos cientistas.

No entanto, o modelo referido por Ferreira e Justi (2008) corresponde ao científico, ou seja, a um modelo expresso submetido a testes e discussões, que é aceito pela comunidade científica (GILBERT; BOULTER apud FERREIRA; JUSTI, 2008). Tal modelo difere dos modelos mentais (que tendem a não ser

precisos, mas devem ser funcionais), no entanto devem ser próximos aos modelos conceituais (NORMAN, 1983), planejados e usados por professores.

Os modelos conceituais (NORMAN, 1983) são criados por profissionais de determinada área com o objetivo de permitir a compreensão e/ou explicação dos sistemas e/ou estados de coisas físicas e abstratas. Logo, são representações completas, precisas e consistentes.

Numa perspectiva educacional, o professor planeja um modelo conceitual sobre um conceito ou fenômeno científico que é utilizado como ferramenta nos processos de ensino e aprendizagem. Desse modo, segundo Moreira (2011, p. 203) “aprender é construir modelos mentais do que está sendo ensinado e ensinar é facilitar a construção e revisão de modelos mentais”.

Portanto, na sala de aula os modelos mentais são formados a todo o momento, geralmente de forma intuitiva pelos discentes. E, conforme pontua Souza (2013), quando esse modelo é coerente do ponto de vista científico, resulta no êxito nas tarefas de ensino, podendo ser interpretado como um indicativo de aprendizagem. Porém, quando tal modelo é considerado incoerente, com base nesse mesmo referencial, o resultado consiste em dificuldades de aprendizagem e os problemas decorrentes.

Com relação ao processo de construção de modelos mentais, que resultará na aprendizagem dos fenômenos químicos, há certas particularidades características da Química que influenciam neste processo. Portanto, é preciso compreender como os conceitos químicos são aprendidos. Por isso, na próxima seção discutimos a proposta de níveis de conhecimento químico de Johnstone, bem como apresentamos algumas pesquisas envolvendo investigações sobre modelos mentais de conceitos químicos.

4. A compreensão da Química e modelos mentais

Segundo Johnstone (1993, 2000), a Química corresponde a uma ciência que é explicada e compreendida por meio de três diferentes níveis representacionais: macroquímica (macroscópico), submicroquímica (submicroscópico) e química representacional (simbólico).

O nível macroscópico corresponde aos aspectos observáveis dos fenômenos, isto é, relacionado ao mundo sensorial e concreto. O nível submicroscópico corresponde ao universo atômico-molecular, aos arranjos, rearranjos, interações e a movimentação das espécies químicas. Por fim, o nível simbólico corresponde a linguagem própria da Química, incluindo as representações simbólicas dos átomos, das moléculas, as fórmulas e equações (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001). Johnstone (1993, 2000), propõe que a compreensão de um dado fenômeno químico envolve a necessidade de compreendê-lo nesses três níveis representacionais. Mas não apenas isso, também requer a capacidade de transição entre eles.

Esse caráter multirepresentacional da natureza da Química é, na concepção de Cutrera e Stipcich (2016), além de uma poderosa ferramenta para interpretação dos fenômenos naturais, uma barreira em potencial para a aprendizagem. Refletindo sobre essa proposta de triangulação entre os níveis de Johnstone, os autores discutem que o sucesso da aprendizagem em Química implica na possibilidade de estabelecer associações mentais entre esses diferentes níveis, utilizando diferentes modos de representação.

O resultado de diferentes pesquisas demonstra que muitos estudantes têm dificuldades em compreender, transitar e estabelecer relações adequadas entre os diferentes níveis representacionais da Química (CUTRERA e STIPCICH, 2016; GIBIN, 2013; LOCATELLI; ARROIO, 2017; MATEUS, 2019; SOUZA; CARDOSO, 2008).

Tais investigações sugerem que os níveis submicroscópico e simbólico são os que os estudantes apresentam maiores dificuldades de compreensão. Assim, eles tendem a construir a maior parte de suas compreensões em Química utilizando as representações macroscópicas, mas tendem a não apresentar êxito no que diz respeito ao desenvolvimento das compreensões e relações com os demais níveis. Gibin (2013) atribui essa dificuldade ao fato de tais níveis serem abstratos e invisíveis e o pensamento dos alunos ser elaborado a partir de informações sensoriais. Em concordância, Melo e Silva (2019) discutem que “os estudantes, ao observarem as propriedades e transformações em aulas de Ciências em nível macroscópico, as interpretam a partir de explicações carregadas de suas vivências”, que geralmente estão associadas a experiências sensoriais. Destacamos nesse momento a importância do professor no processo de construção de significados sobre os fenômenos químicos, bem como a barreira em potencial para a aprendizagem, discutida por Cutrera e Stipcich (2016).

A superação dessa possibilidade de explicar fenômenos químicos apenas com base em vivências ou experiências sensoriais é um dos maiores desafios para os professores de Química, uma vez que o conhecimento químico é particularmente abstrato, pois ninguém consegue observar diretamente nem mesmo as maiores moléculas, naturais ou artificiais. Daí a dificuldade de representar (e ensinar) o que é produzido apenas por meio da abstração. Bachelard (1996) defende que a evolução do espírito científico parte da percepção exata e chega à abstração inspirada pelas objeções da razão e que, o espírito mais evoluído (terceiro estado, denominado abstrato) “adota informações voluntariamente subtraídas à intuição do espaço real, voluntariamente desligadas da experiência imediata e até em polêmica declarada com a realidade primeira, sempre impura, sempre informe” (BACHELARD, 1996, p. 12). Assim, estabelecer relações entre teorias e a realidade deveria ser compreendido como o principal exercício de aprendizagem de conceitos de Química.

Relacionando essas discussões com a teoria de Johnson-Laird (1983), podemos associar as dificuldades na compreensão dos fenômenos químicos aos modelos mentais construídos pelos estudantes, pois essas representações mentais são estruturas cognitivas internas correspondentes à maneira como as pessoas compreendem os fenômenos químicos (GIBIN, 2009).

Dessa maneira, concordamos com Piva *et al.* (2019, p. 212) quando discutem que “as dificuldades de compreensão na disciplina de Química estão relacionadas com a carência do entendimento de entidades teóricas como átomos e moléculas dentro de um contexto mental [...]”. Esse contexto mental seria o modelo mental.

Baseado na teoria dos modelos mentais, Gibin (2015) propõe que o que diferencia um modelo de um estudante iniciante de um modelo do professor (ou cientista) é a quantidade de elementos e a complexidade de relações estabelecidas entre esses elementos. Recorrendo a Johnstone (1993, 2000),

podemos associar esses diferentes graus de complexidade com as diferentes capacidades de transição entre os níveis representacionais da Química.

Assim, ao relacionar os resultados de pesquisas citadas com as dificuldades dos alunos em aprender conceitos químicos, e também com o referencial de modelos mentais, compreendemos que eles tendem a construir seus modelos apegados fortemente ao nível macroscópico da Química.

Santos, Melo e Andrade (2015) investigaram modelos de licenciandos sobre equilíbrio químico, e seus resultados corroboram com nossa discussão. Segundo as autoras, os discentes expressaram modelos apegados ao nível macroscópico, pois transferiram para essa estrutura suas ideias sensoriais. A compreensão dos alunos foi acompanhada de falhas na transição dos níveis, evidenciando a formação de um modelo mental não tão consistente. Resultados concordantes também foram relatados e discutidos por Mateus (2019).

Conforme mencionado, a estrutura dos modelos mentais consiste na presença e articulação de elementos que os constituem e isto influencia na sua complexidade. Tal estrutura parece ter relação com a maneira pela qual determinado modelo é construído. Johnson-Laird (1983) sugere que os modelos podem ser formados a partir do discurso, da percepção e instrução.

Em síntese, os modelos construídos por meio do discurso (descrição de um fenômeno e/ou conceito) podem apresentar um mínimo de estruturas analógicas. Isto porque a sua construção dependerá da atribuição de significados às proposições constituintes do discurso. Portanto, eles podem ser indeterminados, invariáveis e incompletos (MOREIRA, 1996; PALMERO, 2008). Consideramos que esse modelo mais proposicional pode corresponder àquele que não permite ao aprendiz transitar e compreender os fenômenos químicos nos seus diferentes níveis, resultando nas dificuldades de compreensão em Química (MATEUS, 2019).

Por sua vez, os modelos mentais construídos a partir da percepção (por exemplo a partir de relações espaciais), podem apresentar uma analogia estrutural. Portanto, eles representarão uma entidade que corresponde a um conceito ou estado de coisas (MOREIRA, 1996; PALMERO, 2008). Consideramos que o modelo analógico pode permitir ao aprendiz transitar e compreender os fenômenos químicos nos seus diferentes níveis, pois sua construção envolve a articulação com os diferentes níveis de Johnstone.

O ensino de Química ainda envolve a predominância da abordagem no nível simbólico e normalmente é utilizada apenas a linguagem verbal (CUTRERA e STIPCICH, 2016; GIBIN, 2015). No entanto, o uso da linguagem de forma não reflexiva pode expressar relações equivocadas entre os níveis (CUTRERA e STIPCICH, *op cit.*), e favorecer a construção de modelos mais simplistas e pouco analógicos, com as características descritas anteriormente (MOREIRA, 1996; PALMERO, 2008). Somado a isso, a interpretação discente sobre a fala do professor sofre influência de sua estrutura cognitiva. De modo que o significado do que o professor verbaliza (e acredita estar ensinando) pode não corresponder aquele que o aluno assimila e que influencia na construção de seu modelo (MATEUS, 2019).

Por isso, levando em consideração o caráter multirepresentacional de conceitos químicos e seus elevados níveis de abstração, destacamos a importância da diversidade do uso consciente e planejado de recursos didáticos

pelo professor para estimular a construção e/ou reformulação de modelos mentais dos alunos predominantemente analógicos sobre conceitos químicos.

Para isso, o uso de imagens, animações, filmes e modelos físicos pode auxiliar e incentivar os alunos no desenvolvimento da compreensão dos fenômenos nos diferentes níveis representacionais da Química, além da articulação entre eles (GIBIN, 2013), visando a construção de modelos mentais mais complexos, analógicos e coerentes com os modelos conceituais.

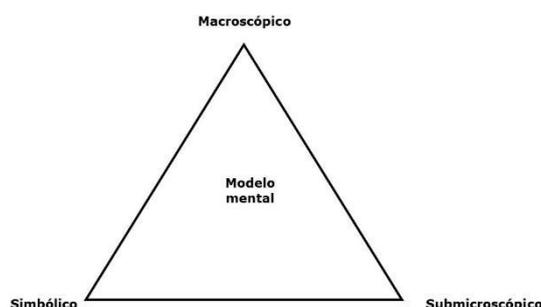
No entanto, destacamos a importância de o professor não abordar os diferentes níveis simultaneamente. Cutrera e Stipcich (2016) e Melo e Silva (2019), tendo como base o trabalho de Johnstone sugerem que as discussões em sala de aula podem ser iniciadas a partir do nível macroscópico (mais familiar aos alunos), e, de maneira gradual o professor pode ir enriquecendo o processo de ensino com os níveis submicroscópico e simbólico.

Ou seja, é importante que o professor, ao ensinar determinado conteúdo inicie mediante observações e/ou manipulações concretas (como um experimento, por exemplo), e gradualmente utilize recursos didáticos (como vídeos, imagens, modelos moleculares etc.) para estimular o raciocínio do aluno no nível submicroscópico. E, então utilize do nível simbólico (linguagem da Química), visando a exploração/relação entre os três níveis (GIBIN; FERREIRA, 2012).

Relacionando essas discussões com a teoria de Johnson-Laird (1983), temos que o processo de construção de modelos mentais analógicos e mais próximos ao conceitual na Química pode ser favorecido quando o professor leva em consideração as relações entre os diferentes níveis representacionais da Química conforme a sequência esquematizada apresentada na Figura 1.

O propósito do esquema apresentado na Figura 1, construído como uma releitura da triangulação de Johnstone, é sintetizar a articulação aqui proposta entre nossos referenciais, enfatizando a importância da exploração e articulação de todos os níveis representacionais no ensino e aprendizagem de Química, que por sua vez, também precisa fazer parte do processo avaliativo. Em outras palavras, considerando que a aprendizagem em Química requer a compreensão e articulação entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico, investigações dessa natureza precisam se atentar aos modelos mentais construídos nos diferentes níveis representacionais. Isso inclui a importância de os alunos expressarem seus modelos dinâmicos sobre fenômenos que, conforme será discutido, pode ser feito por meio de animações em *stop motion*.

Figura 1 - Relação entre os níveis representacionais da Química e a formação de modelos mentais



Fonte: GIBIN (2013).

Ainda com relação ao esquema apresentado na Figura 1, temos que o estabelecimento da ligação entre os níveis simbólico e submicroscópico pode oferecer subsídios para a construção de um modelo mental, no sentido de fornecer dados quantitativos sobre as reações. Já a conexão existente entre os níveis macroscópico e o submicroscópico, permite que o estudante observe as evidências e proponha uma explicação para o fenômeno, o que corresponde ao nível submicroscópico (GIBIN, 2013).

Dessa maneira, esclarecemos ao leitor que nossa intenção ao enfatizar a importância de abordar o nível submicroscópico no ensino (e de sua avaliação), não tem o propósito de considerá-lo como o mais importante. No entanto, conforme discutido, este é o nível menos explorado, o que pode comprometer tanto o processo de construção de modelos mentais dos alunos e, assim, a aprendizagem dos conceitos químicos, como a avaliação das dificuldades de aprendizagem.

Conforme pontuam Melo e Silva (2019), essa abordagem envolvendo os três níveis do conhecimento químico é amplamente difundida no ensino de Química. Mas ainda há lacunas sobre como promover estratégias que auxiliem os estudantes na transição entre cada um deles. Acrescentamos a essas colocações das autoras, que há uma elevada dificuldade para a investigação de modelos mentais de conceitos químicos abordados no nível submicroscópico. Isto ocorre, pois há um caráter dinâmico de movimentação e interação das espécies químicas, que pode ser difícil para o aluno expressar com o uso de palavras ou desenhos.

Diante do exposto, buscamos evidenciar que a compreensão e, portanto, a aprendizagem de um conceito químico implica na construção de um modelo mental para este conceito. Esse modelo, no entanto, pode ser próximo ou não ao modelo conceitual (e assim do científico), visto que seu processo de construção é idiossincrático, o que resultará nos êxitos ou problemas relacionados ao processo de aprendizagem.

Assim, as discussões realizadas até o momento fundamentam a justificativa de que a investigação sobre a aprendizagem de conceitos químicos pode ser realizada por intermédio da análise de modelos mentais expressos por estudantes. Pois concordamos com Piva *et al.* (2019, p. 213), que “modelos mentais permitem uma visão daquilo que o estudante aprendeu” e que “a habilidade das pessoas executar o modelo em sua mente é limitada e depende do conhecimento sobre o tema”.

Somado a isso, nossas discussões também justificam a importância do uso da combinação de instrumentos que permitam ao aluno expressar seu modelo nos três diferentes níveis representacionais da Química, facilitando assim a análise dessa estrutura, ainda que de maneira indireta.

Uma vez que os níveis macroscópico e simbólico podem ser expressos por meio de entrevistas e questionários, se faz necessário buscar e refletir sobre instrumentos eficazes que permitam o estudo do nível submicroscópico e, assim complementar a coleta de dados na investigação dos modelos mentais expressos por discentes nos diferentes níveis da Química.

A problemática levantada, bem como as relações aqui estabelecidas entre os nossos referenciais nos leva a apresentar a técnica de *stop motion* como um instrumento em potencial para realizar o estudo dos modelos mentais sobre conceitos químicos no nível atômico-molecular, pois, conforme melhor

discutimos na próxima seção, permite a representação da dinamicidade dos fenômenos químicos e ser relacionado com modelos mentais cinemáticos ou dinâmicos.

5. Animações em *stop motion* como instrumento complementar de coleta de dados na investigação de modelos mentais sobre conceitos químicos

Investigações envolvendo modelos mentais são realizadas de maneira indireta por meio dos modelos expressos pelos estudantes simbolicamente, verbalmente ou pictoricamente (MOREIRA, 1996). Ou seja, é por intermédio das manifestações dos sujeitos que podemos analisar, ainda que expressos de maneira limitada, seus modelos mentais.

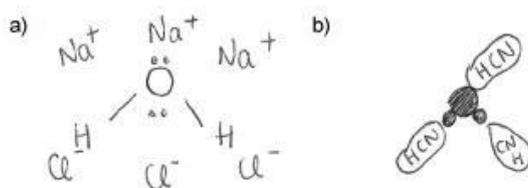
De acordo com Moreira (1996), as técnicas mais comuns para realizar-se tais estudos envolvem a análise de protocolos e de informações verbais obtidas por meio da realização de entrevistas ao solicitar-se que os entrevistados “pensem em voz alta, descrevam o que estão fazendo enquanto executam uma tarefa” (MOREIRA, 1996, p. 211). Também é possível utilizar os depoimentos de estudantes obtidos com o emprego de questionários (com ou sem imagens).

Sobre a pesquisa brasileira, que ainda é incipiente envolvendo a investigação de modelos mentais na área de Química, essas técnicas também vêm sendo utilizadas (FREITAS; KOHORI; GIBIN, 2017, GIBIN, 2013, GIBIN; FERREIRA, 2010, MARQUES, 2015, RODRIGUES; GIBIN, 2019a, RODRIGUES; GIBIN, 2019b, SANTOS, 2014, SANTOS; MELO; ANDRADE, 2015, SOUZA; CARDOSO, 2009).

Souza e Cardoso (2009) investigaram os modelos mentais para o conceito de dissolução de sais apresentados por estudantes de pós-graduação em Química. A coleta de dados foi realizada por meio da proposta aos estudantes de uma atividade na qual eles deveriam descrever (de forma escrita e mediante desenhos) o processo de dissolução de diferentes substâncias (cloreto de sódio, iodo e ácido cianídrico) em água, de acordo com seus aspectos submicroscópicos (Figura 2).

Os autores sugerem dificuldades por parte dos pós-graduandos em Química em realizar interpretações e previsões sobre o processo que envolve sistemas não comumente presentes em sala de aula e/ou livros textos (dissolução do ácido cianídrico e iodo), apontando a existência de “obstáculos à extrapolação dos conceitos químicos envolvidos no fenômeno de dissolução a diferentes situações propostas” na pesquisa, em especial nas representações dos fenômenos em nível simbólico e submicroscópico (SOUZA; CARDOSO, 2009).

Figura 2 - (a) representação de um aluno para dissolução do cloreto de sódio na água e (b) proposta da dissolução do ácido cianídrico em água



Fonte: Souza, Cardoso (2009, p. 240).

Gibin e Ferreira (2010) também chegaram a investigar os modelos mentais de diferentes conceitos químicos expressos por discentes de um curso de Química de uma IES do estado de São Paulo, por meio de testes escritos compostos por figuras representativas de tais conceitos. Os dados obtidos revelaram que no geral, os modelos apresentados pelos graduandos são semelhantes aos de alunos de Ensino Médio, apresentando uma série de dificuldades conceituais.

Estes trabalhos evidenciam a importância do uso do presente referencial teórico aqui apresentado em investigações na área do ensino de Química. No entanto, observamos que, dentre os trabalhos desenvolvidos, poucos são os que utilizaram da potencialidade do uso de animações para realizar as investigações envolvendo modelos mentais. A maioria fez uso das técnicas mais comuns (MOREIRA, 1996), que inclui questionários e entrevistas, que são instrumentos importantes, mas que podem apresentar uma certa limitação relacionada à investigação do aspecto dinâmico dos processos químicos representados pelos sujeitos de pesquisa.

O acesso indireto sobre a compreensão nos níveis macroscópico e simbólico de conceitos químicos pode ser realizado por meio de desenhos, explicações orais ou escritas. Isto ocorre, pois, esses níveis estão relacionados as observações sensoriais dos processos de transformações e de sua representatividade na forma da linguagem própria da Química, seja por meio de equações, fórmulas etc.

Assim, os questionários e entrevistas permitem que os alunos se expressem por meio de palavras, em resoluções de exercícios, definições sobre conceitos, explicações sobre fenômenos ou conceitos, previsões sobre experimentos que envolvem o conceito estudado. As entrevistas podem abordar os mesmos pontos que o questionário, mas podem ser aprofundados os motivos pelos quais os alunos definiram conceitos, explicaram fenômenos e fizeram previsões. Uma vantagem da entrevista é o caráter mais informal que pode ser dado, além de auxiliar na compreensão das concepções do entrevistado. Outra vantagem é a possibilidade de discussão sobre as ideias do entrevistado.

No entanto, quando pensamos no nível submicroscópico, tais recursos podem não ser suficientes, sendo necessário complementar a análise indireta dos modelos mentais, considerando as discussões envolvendo a representação apresentada na Figura 1.

Justificamos essa possível limitação da investigação no nível atômico-molecular por meio dos recursos mais comuns de investigação de modelos mentais (desenhos, escrita, oralidade, interação em sala de aula etc.), pelo próprio caráter dinâmico do nível submicroscópico.

Desse modo, mesmo que existam diferentes tipos de questionários e entrevistas que, por apresentarem diferentes níveis de abertura (alternativo ou dissertativo, estruturada e semiestruturada etc.), podem permitir um acesso mais ou menos revelador no que diz respeito aos modelos mentais de discentes, faz-se necessário ao pesquisador considerar suas possíveis limitações e buscar novos instrumentos que possam complementar seu processo de coleta e análise de dados.

As constantes movimentações e interações das espécies químicas são as responsáveis pelas explicações observáveis no nível macroscópico (descritos pelo aluno a partir da observação sensorial seja na forma oral ou escrita) e que

são expressas na linguagem própria da Química, no nível simbólico. Em outras palavras, as explicações daquilo que é observado e descrito tem seus fundamentos nesse constante processo interativo atômico-molecular.

Portanto, considerando esse caráter dinâmico, quando pensamos sobre o uso exclusivo de manifestações orais ou textuais, nos deparamos com a dificuldade do discente em expressar a sua concepção sobre um fenômeno químico que discute, pois ele se trata de um processo complexo no qual as diferentes interações e transformações que ocorrem, originam tal fenômeno. Refletindo sobre quem avalia, destacamos do mesmo modo a dificuldade deste em “visualizar” esse sistema químico narrado pelo sujeito participante da pesquisa, acompanhando seu raciocínio e identificando equívocos conceituais importantes que interferem na compreensão da Química.

O uso de desenhos pode ser utilizado, e normalmente é, para investigar os modelos mentais a nível submicroscópico. No entanto, uma possível limitação deste recurso está na própria capacidade de permitir a simulação da dinamicidade do sistema e, portanto, de sua avaliação. A imagem é estática, os fenômenos são dinâmicos.

Quando o sujeito participante de pesquisa se expressa utilizando apenas desenhos (imagens estáticas), pode não permitir ao pesquisador avaliar como ele compreende (e se compreende) tal processo em termos de interações dinâmicas entre as espécies. Ou seja, aquela imagem estática pode de fato representar uma concepção de fenômeno estático. Somado a isso, a imagem estática pode “esconder” concepções inadequadas no que diz respeito aos conceitos químicos fundamentais que são importantes. Como exemplo podemos destacar falhas na compreensão de conceitos fundamentais envolvendo as transformações químicas em termos das interações cinéticas (modelo de colisão), também em casos mais particulares como o de equilíbrio químico (MATEUS, 2019), dentre outros (GIBIN; FERREIRA, 2009).

No entanto, não podemos deixar de destacar a importância desse recurso, pois ele permite a representação mental de como o sujeito visualiza determinado sistema químico, mesmo de maneira estática. O pesquisador, tendo consciência de tal limitação, pode melhor interpretar os modelos dos sujeitos participantes de sua pesquisa.

Conforme mencionado, o uso de animações em *stop motion* vem se demonstrando um instrumento em potencial para coleta de dados e análise da compreensão discente sobre fenômenos químicos no nível submicroscópico em trabalhos desenvolvidos com a participação dos autores (GIBIN, 2009, GIBIN; FERREIRA, 2009, GIBIN; FERREIRA, 2012, MATEUS, 2019, MATEUS; FERREIRA, 2019, RODRIGUES; GIBIN 2019a, RODRIGUES; GIBIN, 2019b).

De acordo com Werneck (2005), a técnica de animação conhecida por *stop motion* pode ser definida, de maneira sucinta, como o movimento criado a partir de imagens paradas. A elaboração dos filmes de animação, por meio desta técnica, é realizada por intermédio da fotografia de objetos quadro-a-quadro, que são posteriormente dispostos em sequência e então são exibidos em uma dada velocidade, dando a ilusão de movimento (WERNECK, 2005). Essa ilusão de movimento é importante para a avaliação da aprendizagem em Química, pois se refere aquela dinamicidade do sistema a nível submicroscópico mencionada, que pode ser difícil de ser investigada.

Desse modo, pensando novamente sobre o caráter multirepresentacional da Química, essa potencialidade, quando combinada com demais instrumentos de coleta mais clássicos, pode melhorar a inferência de modelos mentais sobre conceitos químicos, devido contemplar o nível submicroscópico em seu aspecto dinâmico e contínuo (início, meio e fim do processo de transformação química, por exemplo). Algo que pode ser difícil de ser obtido com imagens estáticas (desenhos) ou por meio do discurso, conforme já discutido.

Somado a isso, uma vez inferida a compreensão discente para um determinado fenômeno no nível atômico-molecular, torna-se possível o cruzamento dos dados para identificar de que maneira é feita a relação deste com os demais (e se é feita). Isso permite ao investigador propor se determinado conceito foi memorizado, pois o aluno está limitado apenas a repetir enunciados e explicações que normalmente aparecem em livros e/ou na fala do professor, bem como a realizar cálculos mecanizados, ou se de fato conseguiu atribuir significados ao conceito, pois consegue propor uma explicação a nível submicroscópico para este, relacionando-o com os demais (MATEUS, 2019).

Com relação a área de pesquisa em Ensino de Química, Gibin (2009), Gibin e Ferreira (2009, 2012), Rodrigues e Gibin (2019a, 2019b), Mateus (2019) e Mateus e Ferreira (2019), desenvolveram algumas investigações envolvendo o uso de animações de *stop motion* em combinação com outros instrumentos de coleta para investigação de modelos mentais de estudantes sobre conceitos químicos.

No geral, o emprego da técnica de *stop motion* foi feito com o objetivo de analisar em específico as aprendizagens dos alunos no nível submicroscópico. De posse de tal análise, em combinação com demais instrumentos de coleta (como entrevistas semiestruturadas, questionários etc.) que permitem inferir sobre os demais níveis, foi realizado o cruzamento e análise dos dados, permitindo inferir sobre os modelos mentais de tais discentes.

Diferentes aspectos foram passíveis de análise, como por exemplo as dificuldades de compreensão e transição entre os níveis, equívocos conceituais, dentre outros, dependendo dos objetivos de cada pesquisa.

Gibin e Ferreira (2009) realizaram uma investigação sobre os modelos mentais de alunos do Ensino Médio para o conceito de solubilidade. Os dados foram coletados por meio da elaboração de animações produzidas pelos alunos em grupos sobre o processo de dissolução de NaCl (cloreto de sódio) em água.

Os dados evidenciaram basicamente três grupos distintos de modelos mentais: o primeiro considerou que o processo de dissolução corresponde basicamente à separação iônica das espécies em solução; o segundo apresentou a dissolução como um tipo de “recristalização, em que inicialmente ocorre a separação dos íons e em seguida todas as espécies se reúnem, formando um aglomerado” (GIBIN; FERREIRA, 2009); e o terceiro modelo considera que na dissolução do NaCl ocorre a hidratação do cristal iônico e não ocorre a separação dos íons. Já com relação as orientações espaciais das espécies químicas envolvidas no processo de dissolução, os autores observaram que a maioria dos discentes não considerou este elemento, sendo ele representado (de maneira inadequada) por apenas um dos grupos. Para tais discentes, as “moléculas de água ficam envolvidas por íons livres, ao contrário das esferas de hidratação em que os íons ocupam os centros das esferas” (GIBIN; FERREIRA, 2009).

Em outro trabalho, Gibin e Ferreira (2012) também investigaram os modelos mentais de alunos do Ensino Médio sobre o conceito de mistura heterogênea utilizando a técnica da animação em *stop motion*. Os modelos expressos pelos estudantes representaram a formação do sistema heterogêneo com suas fases distintas. No entanto, os modelos apresentaram diferenças com relação a quantidade de elementos (JOHNSON-LAIRD, 1983). O modelo mais simples, de acordo com os autores, apresentava a formação do sistema heterogêneo e a movimentação de todas as espécies químicas. Um outro mais elaborado, além destes elementos, representava a orientação espacial. O mais complexo deles apresentou todos os elementos citados anteriormente mais a colisão entre as representações das moléculas de água.

Rodrigues e Gibin (2019a, 2019b) investigaram os modelos dos alunos de Ensino Médio sobre reações químicas de eletrólise e sobre a pilha de Daniell, abordando inicialmente experimentos e depois por meio de animações em *stop motion* elaboradas pelos estudantes. Foi observado, segundo os autores, que os estudantes tiveram dificuldades em demonstrar o aspecto dinâmico das reações químicas e alguns grupos não compreenderam adequadamente como ocorre o processo de oxirredução.

Mateus (2019) e Mateus e Ferreira (2019) investigaram os modelos mentais de licenciandos de um curso de Química sobre o conceito de equilíbrio químico, por meio dos modelos expressos pelos estudantes por intermédio de animações em *stop motion*. Os resultados obtidos revelaram a aprendizagem predominantemente mecânica do conceito pela maioria dos alunos, apesar de reproduzirem frases coerentes relacionadas com a definição desse estado reacional dinâmico, como o fato das velocidades se igualarem, as espécies coexistirem e as concentrações se manterem constantes.

Porém, ao externalizar suas concepções sobre o conceito evidenciaram, por meio das animações, uma reprodução memorizada e desconectada, característica da aprendizagem predominantemente mecânica, do estado de equilíbrio químico. Isto porque não foram observadas, nos filmes da maioria dos alunos, características do estado de equilíbrio químico dinâmico.

Essas discussões construídas no presente texto não têm como objetivo apresentar a técnica de *stop motion* como a melhor e mais viável para a investigação de modelos mentais em Química. O propósito é discuti-la como uma potencialidade para acessarmos, ainda que de maneira limitada, o modelo mental discente a nível submicroscópico dos fenômenos químicos.

Logo, quando utilizada em combinação com demais instrumentos de coleta de dados (manifestações escritas, orais etc.), a animação em *stop motion* tem a potencialidade de enriquecer os dados para análise em pesquisas, pois permite ao pesquisador “visualizar” e “acompanhar” o “filme” que passa na cabeça do aprendiz para determinado fenômeno ou conceito. Assim, permite inferir sobre as relações que são estabelecidas e identificar equívocos que poderiam passar despercebidos quando se utiliza apenas de outros instrumentos que não tenham essa capacidade de permitir ao aprendiz representar as interações constantes dos sistemas.

A reflexão sobre essas pesquisas, juntamente com as discussões articulando a teoria dos modelos mentais e a aprendizagem em Química, na perspectiva de Johnstone, nos permite evidenciar uma série de implicações

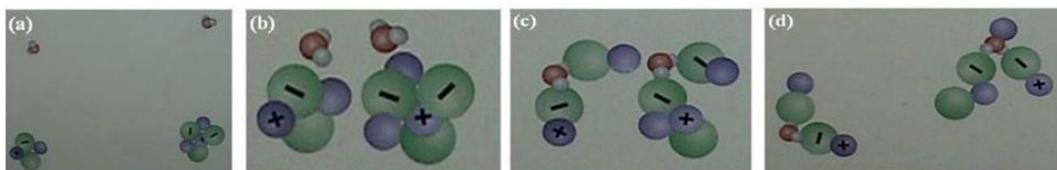
associadas ao uso de *stop motion* como instrumento de investigação dos modelos mentais sobre conceitos químicos. Dentre as quais destacamos:

1. A produção de animações em *stop motion* permite aos sujeitos expressarem como visualizam e compreendem os fenômenos químicos, no nível submicroscópico, por meio da representação do aspecto dinâmico do sistema, o que inclui a movimentação das espécies químicas representadas;

2. Como consequência da consideração anterior, a animação elaborada pelos sujeitos permite ao pesquisador compreender melhor os modelos mentais dinâmicos ou cinemáticos expressos. Isto é, como os participantes de pesquisa imaginam determinado fenômeno no nível submicroscópico. Ou seja, como “visualizam” os átomos, moléculas ou íons interagindo entre si ao formar ou romper ligações químicas, representando as reações químicas de forma dinâmica (com começo, meio e fim), e também apresentando relações de causa e efeito;

Como exemplo, na Figura 3, é feita uma representação da dissolução de cloreto de sódio em água. Pode-se observar na parte (a), que as espécies químicas estão distantes, mas se aproximam em (b). Na sequência, em (c) é possível observar que é formada uma estrutura com a molécula de água e os íons cloreto e que em (d), essas estruturas se afastam. Cabe salientar que a atração entre as espécies foi explicada por meio de entrevista com os alunos (GIBIN, 2009).

Figura 3 – Representação da dissolução do cloreto de sódio em água feita em uma animação em *stop motion*.



Fonte: Adaptado de Gibin (2009).

3. Além disso, o instrumento permite compreender de que forma (e se) os sujeitos realizam as transições entre os diferentes níveis, detectando as limitações de compreensão sobre cada nível, o que permite planejar atividades pedagógicas direcionadas;

4. Por explorar a explicação de um dado fenômeno diretamente no nível submicroscópico, também estimula o estabelecimento de relações entre os diferentes níveis representacionais nos momentos de planejamento e elaboração das animações, que poderia ser difícil apenas com a realização de atividades envolvendo a escrita ou fala (questionários, textos, explicações orais);

5. O emprego da técnica é viável, pois apresenta custos de produção relativamente baixos, por envolver apenas uso de um celular com câmera (ou câmera digital), um tripé construído com canos de PVC e um suporte automotivo para prender o celular (MATEUS, 2019). Com relação as espécies químicas a serem representadas, estas podem ser desenhadas em programas/software computacionais (como Corel Draw, PowerPoint, ChemsKetch, Paint) e impressas. Podem ser desenhadas à mão em papel pelo aluno ou pelo professor, podem ser utilizados outros materiais, como massa de modelar, por exemplo. Com relação ao aprendizado da técnica de *stop motion*, também há vantagens, pois é simples e os alunos geralmente aprendem os fundamentos da

técnica rapidamente, por meio de uma atividade preparatória, que pode ser a construção de uma animação sobre o movimento de uma caneta, por exemplo;

6. No contexto de pesquisa, aliado a outros instrumentos de coleta de dados (orais e escritos) pode auxiliar em uma melhor compreensão dos modelos mentais sobre conceitos químicos;

7. Quando destinado ao contexto de ensino de Química em sala de aula, a elaboração das animações pode ser feita em grupos de alunos, de maneira a criar um ambiente de diálogo e trocas de informações entre os alunos e com o professor, sendo o papel deste o de mediador no processo.

Destacamos também, a reflexão sobre algumas desvantagens em relação ao uso do instrumento. A primeira está relacionada ao tempo para elaboração das animações pelos discentes. Essa etapa pode ser demorada, pois envolve o planejamento do roteiro da animação, antes de sua elaboração. No entanto, pode ser solicitado, por exemplo, que os discentes elaborem suas animações em horários extraclasse, no caso de seu emprego no contexto de sala de aula.

Na Figura 4, há um exemplo de roteiro para ajudar no planejamento da animação. Os alunos são estimulados a representar as espécies em nível submicroscópico ao longo do tempo. É importante discutir com os estudantes sobre o nível submicroscópico, e por isso, é fornecida uma legenda com representações das espécies envolvidas no fenômeno.

Já com relação a um contexto de pesquisa, podem ser confeccionados diversos “kits *stop motion*” (MATEUS, 2019) e entregues aos discentes, para que simultaneamente elaborem seus filmes. No entanto, conforme mencionado, é importante solicitar aos investigados que registrem as suas explicações para o conceito ou fenômeno abordado, bem como evidenciem os critérios químicos utilizados para seu planejamento, além de suas dificuldades.

Figura 4 – Exemplo de um roteiro de planejamento para uma animação em *stop motion*.

Nome: _____

Represente o processo de mudanças de estado físico da água utilizando as imagens a seguir. Utilize os quadros abaixo, para representar as etapas do processo. Explique cada etapa.

 água		
Legenda		
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Fonte: Autoria própria.

Outra limitação da técnica envolve o fato de não permitir que os discentes representem as vibrações e rotações das espécies. No entanto, tal limitação pode ser superada quando é solicitado aquela indicação de quais as limitações (com relação a representação dos fenômenos químicos) percebeu para representar aquele fenômeno em questão.

Outra limitação é a falta de profundidade ou terceira dimensão (GIBIN; FERREIRA, 2012). No entanto, uma forma de contornar tal problema é elaborar imagens com diferentes tamanhos das espécies, para simular um movimento em

profundidade. A terceira dimensão também pode ser abordada por meio do uso de modelos moleculares comerciais ou alternativos na produção das animações.

Assim, os resultados dessas pesquisas, bem como a fundamentação teórica apresentada, evidenciam que a elaboração de animações em *stop motion* pelos próprios sujeitos de pesquisa (e também durante atividades de ensino) para representar como “visualizam” e, portanto, como compreendem determinado fenômeno químico é relevante para a área de Ensino de Química e de Ciências. Pois é importante que os discentes sejam estimulados a estabelecer relações entre os níveis representacionais da Química e elaborem “explicações” a nível submicroscópico, quando solicitados a explicar um experimento (macroscópico) e/ou o representar por meio de equações e fórmulas (simbólico).

6. Considerações finais

A teoria de Johnson-Laird (1983) fornece subsídios importantes relacionadas aos processos de ensino e de aprendizagem de conceitos químicos, isto porque a compreensão e, portanto, a explicação implica na construção e no uso de modelos mentais (BORGES, 1999). Com relação a compreensão da Química, encontramos nos trabalhos de Johnstone (1993, 2000) importantes contribuições relacionadas a importância da operação e transição do sujeito nos diferentes níveis representacionais que constituem essa Ciência, com destaque para a problemática envolvendo o nível submicroscópico.

Discutimos também que, na sala de aula, modelos mentais sobre conceitos químicos são formados e reformulados a todo momento por alunos e professores nos processos de ensino e aprendizagem, muitas vezes sem que os discentes e docentes tenham consciência disto, o que pode resultar em problemas relacionados a aprendizagem dos fenômenos químicos.

Com relação a investigação da aprendizagem em Química, que pode ser feita por meio dos modelos expressos pelos estudantes, discorremos sobre a dificuldade de encontrarmos instrumentos capazes de permitir tanto ao sujeito expressar seu entendimento a nível atômico-molecular, quanto ao pesquisador (que pode ser o professor, no contexto da sala de aula) de ter acesso a ele.

Assim, mediante a abordagem da movimentação de espécies químicas expressas nas animações produzidas por meio da técnica de *stop motion*, em constante diálogo com os referenciais utilizados, discorremos sobre a potencialidade de seu uso para realizar investigações de aprendizagens em Química. Isso porque os fenômenos químicos são dinâmicos, e as explicações desses fenômenos se encontram no nível submicroscópico. Assim, ao permitir a representação dessa dinamicidade de acordo com as compreensões do sujeito, o que poderia ser difícil de se fazer quando os recursos disponíveis se limitam a papel e caneta, o *stop motion* revela sua potencialidade de utilização.

Ainda com relação a esse dinamismo, destacamos as dificuldades em sua representação, conforme observado em algumas pesquisas, mesmo utilizando-se de animações. E isso é extremamente importante, pois permite ao pesquisador avaliar de fato a compreensão sobre os sistemas químicos com os quais o sujeito interage. Assim, propostas de intervenções podem ser construídas fundamentadas nos resultados de tais pesquisas.

Portanto, diante do exposto esperamos ter justificado nossa proposta de que a utilização da animação em *stop motion* consiste em um importante

instrumento para pesquisas na área de Ensino de Química. No contexto de pesquisa, destacamos a possibilidade do uso desse instrumento no processo de avaliação da aprendizagem de conceitos químicos no nível submicroscópico por pesquisadores. O instrumento também pode ser utilizado por professores no contexto da sala de aula.

Dessa forma, esperamos contribuir com as futuras pesquisas relacionadas com o Ensino de Química, a partir das reflexões aqui construídas envolvendo a teoria dos modelos mentais, sua relação com a proposta de Johnstone, bem como da possibilidade do uso de *stop motion* que juntamente com demais instrumentos de coleta de dados (escritos e orais) pode contribuir para investigações na área.

Referências

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico.** Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BORGES, A. T. Como evoluem os modelos mentais. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciência**, Belo Horizonte. v. 1, n.1. jan-jun. 1999. p. 66-92.

BUNGE, M. **Teoria e realidade.** São Paulo: Perspectiva, 1974.

CUTRERA, G; STIPCICH, S. El triplete químico. Estado de situación de un idea central en la enseñanza de la Química. **Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación en Iberoamérica**, v. 3, n. 6, 2016.

FERREIRA, P. F. M; JUSTI, R. S. Modelagem e o “fazer ciência”. **Química Nova na Escola**. v. 28, p. 32-36, mai. 2008.

FREITAS, C. J. A; KOHORI, R. K; GIBIN, G. B. Investigação dos modelos mentais de estudantes de Ensino Médio sobre equilíbrio químico. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO*, 7.; 2019, Bauru. **Anais [...]**. Bauru: UNESP, 2019. Disponível em: https://www.cbe-unesp.com.br/2017/pages/anais_cbe_v04.pdf. Acesso: 29/09/2020.

GIBIN, G. B. As dificuldades de compreensão sobre o conceito de solução representado em nível microscópico por estudantes latino americanos. **Debates em Ensino de Química**. v. 1, n. 1, p. 72-81, 2015.

GIBIN, G. B. **Atividades experimentais investigativas como contribuição ao desenvolvimento de modelos mentais de conceitos químicos.** 2013. 226f. Tese (Doutorado em Ciências). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

GIBIN, G. B. **Investigações sobre a construção de modelos mentais para o conceito de soluções por meio de animações.** 2009. 260f. Dissertação (Mestrado em Química). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

GIBIN, G. B; FERREIRA, L. H. Investigação de modelos mentais dinâmicos sobre a dissolução de NaCl por meio da elaboração de animações. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 7.; 2009, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2009. Disponível em: <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/255.pdf> Acesso em: 28/06/ 2019.

GIBIN, G. B; FERREIRA, L. H. A formação inicial em química baseada em conceitos representados por meio de modelos mentais. *Química Nova*. v.33, n. 8, p. 1809 – 1814, 2010.

GIBIN, G.B; FERREIRA, L. H. Estudo dos modelos cinemáticos/dinâmicos sobre sistema heterogêneo por meio da produção de animações pelos estudantes. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA*, 16.; 2012, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: UFBA, 2012. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/download/8064/5818>. Acesso em: 25/03/2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GILBERT, J. K; BOULTER, C. J. Stretching models too far. *In: Annual Meeting of the American Education Research Association*. Anais... San Francisco, 1995.

JOHNSTONE, A. H. Chemical education research: where from here? **University Chemical Education**. v. 4, n. 1, p. 34-38, 2000.

JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching – A changing response to changing demand. **Journal of Chemistry Education**. v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed070p701>. Acesso em: 26/06/2019.

JONHSON-LAIRD, P. **Mental Models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness**. Cambridge: Harvard University Press, 1983, 528p.

LOCATELLI, S. W; ARROIO, A. Dificuldades na transição entre os níveis simbólico e submicro – repensar o macro pode auxiliar a compreender reações químicas? **Enseñanza de las Ciencias, extraordinario**. p. 4239-4244, 2017.

MARQUES, D. A. **Estudo do desenvolvimento de modelos mentais sobre o conceito de ligações químicas e sua relação com obstáculos epistemológicos**. 2015. 177f. Dissertação (Mestrado em Química). Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

MATEUS, P. G. **Levantamento de modelos mentais para verificação de aprendizagem significativa do conceito de equilíbrio químico em licenciandos em Química**. 2019, 183f. Dissertação (Mestrado em Química). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

MATEUS, P. G; FERREIRA, L. H. Investigação dos modelos mentais sobre equilíbrio químico expressos através de animações elaboradas por discentes de um curso de licenciatura em Química. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO*, 7.; 2019, Bauru. **Anais [...]**. Bauru: UNESP, 2019. Disponível em: <https://cbe-unesp.com.br/anais/index.php?t=RE2019031811416>. Acesso em: 07/10/2019.

MELO, M. S; SILVA, R. R. Os três níveis do conhecimento químico: dificuldades dos alunos na transição entre o macro, o submicro e o representacional. **Revista Exitus**, v. 9, n. 5, p. 301-330, 2019.

MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigação em Ensino de Ciências**. v. 1, n. 3, p. 193-232, dez. 1996.

MATEUS, P. G.; GIBIN, G. B.; FERREIRA, L. H. *Potencialidades do uso de animações em stop motion para investigação de modelos mentais sobre conceitos químicos*.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2ª ed. São Paulo: EPU, 2011, 242 p.

NORMAN, D.A. Some observations on mental models. In: GENTNER, D; STEVENS, L (org.). **Mental Model**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1983, p. 6-14.

PALMERO, R. "La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird". In: PALMERO, R. (org.) **La teoría del aprendizaje significativo en la perspectiva de la psicología cognitiva**. Barcelona: Octaedro, 2008, p. 46-87.

PIVA, G. M; ALMEIRA, L. F; KOHORI, R. K; GIBIN, G. B. Desenvolvimento de modelos mentais por meio da elaboração e aplicação de modelos físicos alternativos para o ensino de atomística. **Revista Ciências e Ideias**. v. 10, n. 2, p. 210-230, 2019. doi: 10.22047/2176-1477/2019.v10i2.1116

RIBEIRO, C. F. A. Organizar e representar informação: apenas um meio para viabilizar o acesso? **Revista da faculdade de letras, ciências e técnica do patrimônio**, Porto, v. 4, p. 83-100, 2005.

RODRIGUES, A. M; GIBIN, G. B. Investigação sobre modelos mentais de alunos do Ensino Médio sobre eletrólise expressos em animações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO, 7.; 2019a, Bauru. **Anais [...]**. Bauru: UNESP, 2019. Disponível em: <https://cbe-unesp.com.br/anais/index.php?t=TC2019031430482>. Acesso em: 07/10/2019.

RODRIGUES, A. M; GIBIN, G. B. Modelos mentais de alunos sobre a pilha de Daniell: investigação com uso do aplicativo Stop Motion. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA, 5.; 2019, Presidente Prudente. **Anais [...]**. Presidente Prudente: UNESP, 2019b. Disponível em: <https://cpides.com.br/sigeve/index.php/attachment/downloadAttachment/6>. Acesso em: 07/10/2019.

RUDIO, F. V. **Introdução ao projeto de pesquisa científica**. Petrópolis: Vozes, 1986.

SANTOS, A. C. O. **Reflexões sobre as contribuições do estudo dos modelos mentais de equilíbrio químico na formação de professores de Química**. 2014. 139f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

SANTOS, A. C. O; MELO, M. R.; ANDRADE, T. S. Identificando modelos mentais de equilíbrio químico: uma alternativa para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem. **Fórum Identidades**. v. 18, mai-ago. 2015. p. 35-56.

SOUZA, E. S. R. A formação de modelos mentais na sala de aula. **Revista Exitus**. v. 3, n. 1, jan-jun. 2013. p. 69-184.

SOUZA, K. A. F. D; CARDOSO, A. A. A. Formação em química discutida com base nos modelos propostos por estudantes de pós-graduação para o fenômeno de dissolução. **Química Nova**. v. 32, n. 1, p. 237-243, 2009.

SOUZA, K. A. F. D; CARDOSO, A. A. Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico e de sua abordagem em sala de aula. **Química Nova na Escola**, v. 27, p. 51-56, fev. 2008.

MATEUS, P. G.; GIBIN, G. B.; FERREIRA, L. H. *Potencialidades do uso de animações em stop motion para investigação de modelos mentais sobre conceitos químicos.*

WERNECK, D. L. **Estratégias digitais para o cinema independente.** 2005. 249f. Dissertação (Mestrado em Artes) – Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

WU, H; KRAJCIK; J.S; SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: student's use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching.** v. 28, n. 7, p. 821-842, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/tea.1033>. Acesso em 27/06/2019.

Agradecimentos

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

Contribuição dos autores

Autor 1: Participação ativa na discussão das interpretações propostas no trabalho.
Autor 2: Participação ativa na discussão das interpretações propostas no trabalho.
Autor 3: Contribuição referente a análise das interpretações e revisão final do manuscrito.

Enviado em: 14/julho/2020 | Aprovado em: 03/setembro/2020