

Investigação da aprendizagem significativa do conceito de equilíbrio químico por meio de modelos mentais expressos por licenciandos em Química

Paola Gimenez Mateus e Luiz Henrique Ferreira

Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil. E-mail: paolagimenezm@gmail.com.

Resumo: No presente trabalho foram investigados os modelos mentais construídos por licenciandos em Química, sobre o conceito de equilíbrio químico para buscar evidências da aprendizagem com maior caráter significativo, próximo ao significado científico, ou mecânico. Somado a isso, buscou-se investigar os possíveis fatores que resultaram nesses tipos de aprendizagens. Para a investigação dos modelos mentais, foram utilizados três instrumentos de coleta de dados: um questionário, uma animação e um roteiro de entrevista semiestruturada. Os dados obtidos foram tratados por meio da análise textual discursiva e interpretados à luz da teoria da aprendizagem significativa e da teoria dos modelos mentais. Nossos dados revelam que a construção de um modelo mental que resulte na aprendizagem com maior caráter significativo e próximo ao científico, depende da existência do conceito subsunçor de reação química, devidamente desenvolvido no nível atômico-molecular, além da consideração, por parte dos professores formadores, das concepções prévias dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem do conceito.

Palavras-chave: equilíbrio químico, aprendizagem significativa, modelos mentais.

Title: Investigation of the meaningful learning of the concept of chemical equilibrium through mental models expressed by students of licentiate degree course

Abstract: In the present work the mental models constructed by undergraduates Chemistry students were investigated on the concept of chemical equilibrium to search for evidences of learning with a meaningful learning character, close to the scientific, or mechanical learning. In addition, we sought to investigate the possible factors that resulted in these types of learning. For the investigation of the mental models, three instruments of data collection were used: a questionnaire, an animation and a route of semi-structured interview. The data obtained were treated through discursive textual analysis and interpreted in light of the theory of meaningful learning and the theory of mental models. Our data reveal that the construction of a mental model that results in learning with a significant character and close to the scientific one, depends on the existence of the subsunçion concept of chemical reaction duly developed at the atomic-molecular level, besides the consideration, on the part of the educating teachers, of the students' previous conceptions in the teaching and learning process of the concept.

Keywords: chemical equilibrium, meaningful learning, mental models.

Introdução

O conceito de equilíbrio químico, dentre os diversos temas da química, vem sendo apontado em diferentes pesquisas como um dos tópicos mais complexos e de difícil compreensão, tanto por alunos de Ensino Médio como também do Ensino Superior. Tais pesquisas creditam essa complexidade e dificuldade a alguns fatores, como a natureza abstrata do conceito, a articulação com demais conteúdos químicos, o uso de analogias sem as devidas discussões e a existência de concepções alternativas (CA) relacionadas ao conceito geral de equilíbrio (Aini, Fitriza, Gazali e Mawardi, 2018; Bergquist e Heikkinen, 1990; García-Lopera, Calatayud e Hernández 2014; Júnior e Silva, 2009; Raviolo e Azanar, 2003; Satriana, Yamtinah, Ashadi e Indriyanti, 2018).

Dentre as concepções alternativas já relatadas na literatura, observadas em estudantes de diferentes nacionalidades, citamos: a) associação de equilíbrio a um estado estático; b) concentração de reagentes e produtos iguais; c) processo reversível, mas não simultâneo; d) compartimentalização do sistema; e e) aplicação automática e indiscriminada do princípio de Le Chatelier (Aini et al., 2018; Bergquist e Heikkinen, 1990; González, 2017; Júnior e Silva, 2009; Özmen, 2008; Raviolo e Azanar, 2003; Santos, Andrade e Izaias, 2016; Santos, Melo e Andrade, 2016; Vetere, Cappannini e Espíndola, 2017).

Os importantes resultados dessas pesquisas sugerem a influência do conhecimento prévio dos estudantes no processo de aprendizagem do conceito, pois a origem dessas concepções alternativas parece estar associada a ideias cotidianas gerais de equilíbrio construídas a partir de experiências concretas dos discentes. Silva (2016) sugere que tais concepções parecem atuar como obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1996) para a aprendizagem do significado científico do conceito, fazendo com que tanto a persistência desses obstáculos (CA), quanto os fatores associados a não superação destes, precisem ser estudados.

Além disso, apesar das importantes contribuições já relatadas na literatura, tais concepções ainda parecem ser frequentes (Aini et al., 2018; González, 2017; Santos, Andrade e Izaias, 2016; Santos, Melo, Andrade, 2016; Vetere et al., 2017), justificando a importância do desenvolvimento de pesquisas que visem investigar os motivos que poderiam resultar nas dificuldades dos discentes em atribuir o significado científico ao conceito, para que assim estas possam ser minimizadas e/ou evitadas.

É nessa perspectiva que esse trabalho foi desenvolvido, pois o objetivo é contribuir para o entendimento dos fatores que possam estar resultando na dificuldade de licenciandos em Química em aprender o conceito científico de equilíbrio químico.

Para isso, nesta pesquisa foram investigados os modelos mentais que discentes de um curso de Licenciatura em Química estão construindo sobre a temática, os quais foram analisados a partir das teorias da aprendizagem significativa, proposta por Ausubel, Novak e Hanesian (1980), e dos modelos mentais, proposta por Johnson-Laird (1983), pois, como melhor

será discutido nas próximas seções, tais aportes teóricos se relacionam em aspectos relevantes, apresentando importantes contribuições para os processos de ensino e aprendizagem.

No entanto, também esclarecemos que contribuições e interpretações de outros autores, como Moreira (1996, 1997, 2012) e Souza (2013), bem como da literatura sobre o processo de ensino e aprendizagem do conceito de equilíbrio, foram adotadas como referenciais para o desenvolvimento desse trabalho.

Referencial teórico

Aprendizagem significativa

De acordo com Ausubel et al. (1980), a aprendizagem significativa é aquela resultante de um processo interacional entre novos conhecimentos potenciais com algum específico pré-existente na estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não literal (não palavra por palavra) e não arbitrária (com conhecimento específico), por meio do processo de assimilação. Isto é, segundo esses autores, a assimilação é um processo dinâmico no qual os novos materiais irão sofrer interação com conceitos subsunçores (conhecimentos prévios), o que resultará tanto na atribuição de significados, por parte do aprendiz, a esses novos conhecimentos, quanto na transformação daqueles pré-existentes, tornando-os mais claros e potentes para novas aprendizagens significativas (Mateus, 2019).

Segundo Moreira (2012), esse processo de aprendizagem por assimilação, que predomina na fase adulta, “passa a ser uma negociação de significados aceitos e não aceitos no contexto de um determinado corpo de conhecimentos” (p. 10), de maneira a evidenciar a importância da consideração, por parte do professor, dos conhecimentos prévios de seus alunos.

Ausubel et al. (1980), sugerem que a aprendizagem significativa envolve a ocorrência simultânea (porém com diferentes intensidades) de dois processos importantes da estrutura cognitiva: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. O primeiro processo, discutido previamente, corresponde àquela atribuição de novos significados a um determinado subsunçor quando este é utilizado na atribuição de significados aos novos materiais. Já o segundo, a reconciliação integradora, consiste num processo de integrar significados, eliminar diferenças aparentes e resolver inconsistências, isto é, se trata de uma superordenação na estrutura do sujeito quando este assimila novos conhecimentos (Moreira, *op cit.*).

Para a ocorrência da aprendizagem significativa, basicamente dois fatores devem ser atendidos: o material deve ser potencialmente significativo e o discente deve apresentar uma pré-disposição em aprender significativamente (Ausubel et al., *op cit.*).

Com relação ao primeiro fator, diz-se que o material deve ser “potencialmente significativo” devido ao fato de os significados estarem nas pessoas e serem por elas atribuídos, não estando presentes no material em si (Moreira, 2012). Somado a isso, também significa dizer que o material a ser aprendido (livro, filme, animação, problemas, aplicativos, etc.) deve apresentar um significado lógico para o estudante e ser relevante, ou seja,

ele precisa ser relacionável de maneira não literal e não arbitrária em sua estrutura cognitiva. Essas características, mais uma vez, evidenciam a importância do conhecimento prévio do discente.

O segundo fator também parece estar atrelado com os subsunçores do aprendiz, pois essa pré-disposição em aprender não se trata necessariamente da afinidade do discente pela disciplina ou pelo conteúdo, mas sim dele estar disposto em relacionar de maneira interativa os novos conhecimentos à sua estrutura prévia (Moreira, 2012). Para que isso ocorra, é necessário que o discente compreenda a importância desse novo material, justificando a necessidade de ser relevante, para que deseje aprender significativamente. No entanto, além disso, faz-se necessário que exista em sua estrutura cognitiva subsunçores relevantes com os quais o novo conceito, o novo material, possa se relacionar e, assim, garantir a assimilação não arbitrária e não literal desse novo conhecimento (Mateus 2019, Moreira, 2012).

Sendo assim, essas discussões reforçam a implicação do conhecimento prévio do discente no processo de ensino e aprendizagem, incorporando importante significado às palavras de Ausubel et al. (1980):

Se quiséssemos reduzir a psicologia educacional em um único princípio este seria: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra isso e ensine-o de acordo (p.137).

No entanto, quando os autores sugerem que “aquilo que o aprendiz já conhece” é o fator isolado que mais influencia na aprendizagem, não se referiram ao fato desse conhecimento sempre ser um facilitador. Às vezes, os discentes podem apresentar subsunçores que acabam atuando como obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1996) à atribuição de significados científicos a determinados conceitos, como é o caso das concepções alternativas (González, 2017; Silva, 2016).

Essas discussões justificam as dificuldades dos alunos em superar esses obstáculos, mencionados anteriormente, por meio de procesos de mudanças conceituais. Pois se tratando de aprendizagens predominantemente significativas, essas concepções fazem sentido para o aprendiz e são suficientes, segundo seu conhecimento, para explicar e prever conceitos, fatores e eventos (Moreira e Greca, 2003). Entretanto, isso não descarta ou diminui a importância dessa variável, pelo contrário, permite o planejamento pedagógico no sentido de superações das barreiras de aprendizagens (Mateus, 2019).

Até o momento discute-se sobre a aprendizagem significativa e sobre os fatores que influenciam nesse processo. No entanto, segundo Ausubel et al (1980), quando essa aprendizagem não se concretiza, devido a não existência de subsunçores relevantes, adequados e desenvolvidos, ou do emprego de materiais não potencialmente significativos, é a aprendizagem mecânica que se efetiva.

A aprendizagem mecânica se caracteriza pela memorização de um determinado conceito, evidenciada pela repetição de leis, conceitos e fórmulas. Infelizmente, esse tipo de aprendizagem tende a ser estimulado no que se refere aos conteúdos de Química (Júnior e Silva, 2009; Santos,

Andrade e Izaias, 2016), contribuindo, em associação com outros fatores, para o desinteresse dos alunos pelos conteúdos desta disciplina. O incentivo a tal aprendizagem ocorre, principalmente, devido ao emprego de avaliações com caráter predominantemente behavioristas do tipo "certo e errado", "sim ou não", em detrimento das características construtivistas (Moreira, 2012).

Como consequência dessas características, esse tipo de avaliação é o que faz muitos professores terem a falsa sensação de que seus alunos de fato compreenderam determinado conteúdo, obtendo aprovação na disciplina (Moreira, 2012). No entanto, conforme mencionado, a aprendizagem mecânica se caracteriza pelo "decoreba", que após ser "utilizado" para realizar tais avaliações é logo esquecido. Isso quando não ocorrem os esquecimentos comuns durante a realização de testes e provas, associados aos famosos "brancos", conforme discute Moreira (2012).

Tais características são consequências do próprio processo envolvido na aprendizagem mecânica, pois, quando o novo material (a ser aprendido) não encontra subsunções adequados, relevantes e específicos para se relacionar, ele não sofre o processo dinâmico de interação quando é incorporado na estrutura cognitiva do aprendiz. Em outras palavras, esse novo material não passa pelos processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora. Como resultado, o sujeito não é capaz de atribuir significados (ou então atribui muito pouco) a esse novo material. Consequentemente, esse novo conhecimento aprendido mecanicamente se encontra desconectado, e apresenta as características da aprendizagem mecânica discutidas anteriormente.

Logo, a maneira pela qual o aprendiz irá aprender determinado conceito (predominantemente significativa ou mecânica) dependerá da forma pela qual as novas informações irão se relacionar com a sua estrutura cognitiva.

Devido ao processo dinâmico de assimilação não literal e não arbitrário característico da aprendizagem significativa, quando o discente aprende determinado conceito significativamente e de maneira coerente do ponto de vista aceito cientificamente, ele será capaz de explicar, por meio de suas manifestações, esse conceito sem, no entanto, perder seu significado científico, apresentando flexibilidade de aplicação deste (Moreira, 2012).

Portanto, a verificação da aprendizagem significativa não pode se resumir na utilização dessas avaliações behavioristas comumente empregadas, mas pelo uso de avaliações que permitam aos discentes externalizarem suas concepções sobre determinado conteúdo, testarem sua abrangência na resolução de atividades e/ou problemas e que exijam deles a transferência desse conhecimento aprendido a situações diferenciadas, testando assim a flexibilidade de sua aplicação.

Aprendizagem significativa e modelos mentais

Segundo Johnson-Laird (1983), a compreensão de um determinado conceito, sistema ou evento implica na construção de um modelo mental de trabalho para estes, isto porque, de acordo com o autor, as pessoas raciocinam por intermédio de modelos mentais. Apesar do autor considerar que o modelo é de trabalho, Moreira (1997) pontua que:

[...] modelos de trabalho não são construídos a partir do zero. Ao contrário, eles são construídos a partir de entidades mentais já existentes, as quais, a rigor seriam também modelos mentais (quer dizer, há modelos mentais dentro de modelos mentais) (p.29).

Johnson-Laird (1983) considera que o modelo mental é uma representação interna de alto nível que está no cerne psicológico da compreensão. Nessa perspectiva, aprender um dado conteúdo implica na construção de um modelo mental para esse conteúdo, neste caso o de equilíbrio químico, ou fazer previsões e descrições deste e/ou utilizando-o, implica em ter um modelo mental para ele.

No entanto, conforme pontua Moreira (1997), "se a pessoa é capaz de explicar e fazer previsões sobre tal sistema isso é, sem dúvida, evidência de aprendizagem significativa" (p. 29). Logo, os modelos mentais podem ser utilizados como um potente instrumento de avaliação da aprendizagem significativa do conceito de equilíbrio dos discentes. Desse modo, concordamos com Piva et al. (2019, p. 213) ao proporem que "os modelos mentais permitem uma visão daquilo que o estudante aprendeu".

Os modelos mentais apresentam características que nos permite fazer relações importantes com a teoria da aprendizagem significativa, como o fato de serem inacabados, isto é, de estarem em constante evolução à medida que o indivíduo interage com o sistema e assim adquire conhecimentos e os incorpora a sua estrutura mental (Moreira, 1996). Esse sistema pode ser compreendido como um conceito aprendido em sala de aula, no caso desse trabalho, o de equilíbrio químico.

Sendo assim, à medida que o aprendiz interage com a temática por meio de instruções pedagógicas, espera-se que ele construa um modelo mental de equilíbrio químico. No entanto, alguns fatores poderão influenciar nesse processo de construção e no produto derivado deste (o modelo).

Segundo D'Amore (2007) *apud* Souza (2013), a dinâmica de formação dos modelos mentais envolve a "acomodação e equilibração de sucessivas imagens mentais, de modo a não sofrerem mais desequilíbrios em função de conflitos cognitivos proveniente de estímulos externos ou internos" (p.177). O autor compara esse processo como uma série de camadas de imagens mentais acomodadas e imbricadas nas quais "as camadas exteriores contêm completamente as camadas internas. Isto é, cada camada mais externa compartilha das mesmas propriedades que as camadas que ela contém e acrescenta outras" (p.177).

Nessa perspectiva, é possível compreender uma determinada imagem mental já acomodada com um modelo mental até que algum estímulo a desequilibre fazendo com que novamente se acomode incorporando os elementos de tal estímulo. Nesse momento, têm-se como resultado uma imagem mental mais elaborada, ou conforme pontua Souza (2013), um "novo modelo mental".

Com base nessas discussões, é possível observar que a formação e evolução dos modelos mentais envolve um processo dinâmico de interação entre novas imagens com aquelas pré-existentes. Assim sendo, se considerarmos essas imagens prévias como conhecimentos prévios, da teoria de Ausubel et al. (1980), podemos relacionar a teoria da

aprendizagem significativa com a teoria dos modelos mentais. Desse modo, as imagens subsunçoras, ou modelos prévios, conforme sugere Souza (2013), podem influenciar na aquisição de novas informações e, portanto, no processo de aprendizagem, podendo este ocorrer predominantemente de forma significativa ou mecânica, a depender da maneira pela qual as novas imagens sejam adicionadas e interajam com aquelas pré-existentes.

Discussões sobre o processo de construção de modelos mentais, segundo a perspectiva de Johnson-Laird (1983), realizadas por Piva et al. (2019) também colaboram para o estabelecimento do diálogo que estamos propondo. Os autores (Piva et al., op cit., p. 212) discutem que para o autor, “os modelos mentais são como tijolos de construção no espaço cognitivo do cérebro humano”, e argumentam que “cada tijolo de conhecimento adquirido auxilia na construção posterior de novos conhecimentos, além de que, depois de um modelo mental fixado, o aluno pode vir a desenvolver informações adicionais sobre os conteúdos aprendidos”.

Com base nessas discussões evidenciamos a importante contribuição e relação das teorias da aprendizagem significativa e dos modelos mentais no processo de construção de conceitos, com a finalidade de justificar nossa escolha em adotá-las como referenciais teóricos no desenvolvimento dessa pesquisa. Partimos da hipótese de que as análises e discussões baseadas nos pressupostos de ambas as teorias nos permitirão atingir o objetivo proposto nesse trabalho.

Metodologia

Para a coleta dos dados desta pesquisa, caracterizada como qualitativa na modalidade de estudo de caso, foi planejado um minicurso, ministrado pela pesquisadora, em que foram discutidas algumas estratégias para o ensino do conceito de equilíbrio químico. No entanto, tomou-se o cuidado de não ser discutido nenhum conceito referente à temática, para não influenciar na qualidade e validade dos dados.

A participação dos discentes no minicurso e, portanto, na pesquisa foi voluntária tendo como único critério a necessidade da aprovação prévia na disciplina de Química Geral II, que corresponde ao primeiro contato dos discentes com o conceito na graduação. Isto é, nosso objetivo foi investigar os modelos mentais (e a aprendizagem) dos discentes já construídos durante sua formação ao terem passado pelo processo de aprendizagem.

A presente pesquisa contou com um total de 14 licenciandos de uma universidade pública localizada no estado de São Paulo (Brasil). No Quadro 1 é apresentado o perfil dos discentes investigados, relacionando as disciplinas (Química Geral II, Físico-Química I, Química Analítica Qualitativa e Química Analítica Quantitativa) já cursadas (com aprovação) em que o conteúdo de equilíbrio químico é trabalhado na graduação. Foi adotada uma codificação constituinte pela letra “A” seguida da numeração de 1 a 14 para diferenciar cada licenciando. De acordo com as informações apresentadas no Quadro 1, no momento da coleta de dados A1 e A4 eram formandas, portanto, já haviam cursado todas as disciplinas nas quais o conteúdo é trabalho.

Discentes	Disciplinas
A1, A4	QG II, FQ I, QAQI, QAQt
A2, A3, A5, A7, A9, A12,	QG II, FQ I, QAQI
A13, A14	QG II, FQ I
A6, A8, A10, A11	QG II

Quadro 1.- Perfil dos discentes participantes da pesquisa.

Os alunos A2, A3, A5, A7, A9 e A12, estavam cursando o 6º semestre do curso, enquanto A6, A8, A10 e A11 estavam cursando o 4º semestre do curso. A13 e A14 se referem a dois discentes que estavam também matriculados no 6º semestre do curso de graduação, porém, devido se tratar de alunos vindos de transferência, justificamos as diferenças com relação as disciplinas já cursadas.

Conforme pontua Moreira (1996), a investigação de modelos mentais não é trivial. Isso, porque se trata de representações internas que estão na mente das pessoas, de maneira que não temos acesso direto, além do fato de normalmente serem construídos de maneira inconsciente e, em decorrência de suas características, costumam ser confusos e incompletos. Por isso, o pesquisador tem que se preparar para lidar com esses modelos.

Gibin e Ferreira (2012) discutem e defendem o uso de animações como importante ferramenta para investigação de modelos mentais que estudantes construíram sobre conceitos químicos. Isto porque, segundo os autores, essa técnica permite que os alunos executem e demonstrem, por meio de modelos expressos, os modelos internos dinâmicos que possuem sobre determinado fenômeno (em especial no nível submicroscópico), processo que talvez seja dificultado com o uso restrito de testes escritos ou orais. No entanto, o estudo envolvendo essas representações internas requer a combinação de diferentes instrumentos de coleta de dados (Gibin, 2013).

Por isso, para o levantamento dos modelos mentais dos licenciandos em Química na presente pesquisa, utilizamos três instrumentos de coleta de dados. Na Figura 1 são apresentados esses instrumentos, bem como a etapa de coleta de dados de forma resumida.

O questionário foi elaborado a partir de uma consulta prévia em alguns livros didáticos de Ensino Médio e de graduação, com a finalidade de buscar imagens que pudessem servir de base para elaboração desse instrumento, devido a importância do uso de imagens em investigações envolvendo os modelos mentais (Gibin, 2013).

O objetivo do segundo instrumento, a animação, foi o de aprofundar a investigação sobre a aprendizagem dos alunos sobre o equilíbrio químico com foco no nível submicroscópico, pois conforme pontua Johnstone (2000) a aprendizagem dos conceitos químicos envolve a compreensão destes nos três diferentes níveis representacionais da Química (submicroscópico, simbólico e macroscópico), bem como da relação entre estes.

O sistema representado pelos discentes por meio de animações envolveu a reação de formação e decomposição da molécula de ozônio (em condições

isentas de interferentes e poluição). Justificamos nossa escolha por se tratar de uma situação "nova" no que diz respeito ao conteúdo de equilíbrio. Isto porque a temática envolvendo a camada de ozônio é comumente trabalhada em estudos cinéticos ou relacionados a questões ambientais. Portanto, nossa escolha foi realizada partindo do pressuposto da teoria de Ausubel et al. (1980) referente a flexibilidade de aplicação do conteúdo.

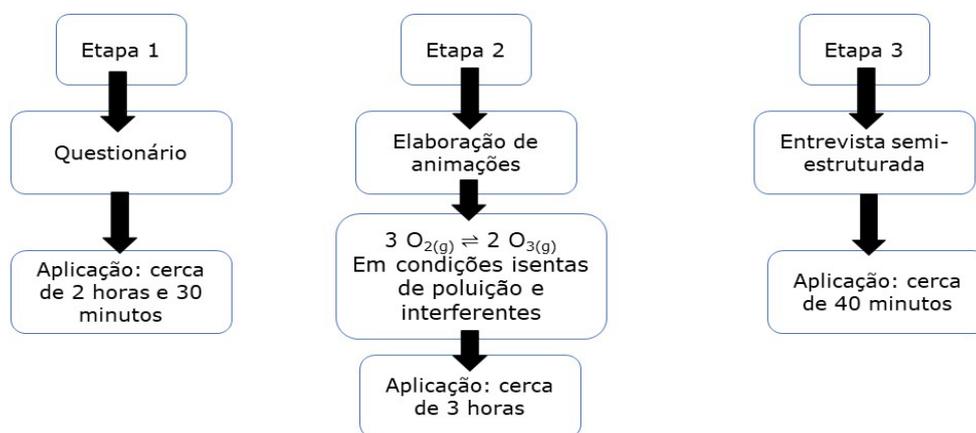


Figura 1.- Instrumentos e etapa da coleta de dados. Fonte: Autores.

Por fim, a entrevista, cujo roteiro foi elaborado após uma pré-análise do questionário e das animações, foi proposta com a finalidade de aprofundar as investigações dos modelos expressos pelos alunos em alguns pontos nos quais o questionário e a animação não conseguiram elucidar e/ou se mostraram controversos, a fim de evitar possíveis análises ambíguas. Com relação ao proceso de análise dos dados, este foi realizado a partir dos referencias teóricos adotados e com base em alguns elementos norteadores definidos previamente a aplicação dos instrumentos de pesquisa.

Esses elementos norteadores foram divididos em duas categorias, de acordo com o grau de complexidade apresentado, sendo elas: 1) elementos de baixa complexidade: corresponde a conceitos aplicáveis a quaisquer transformações químicas, como movimentação, interação e choques efetivos e não efetivos das espécies no sistema; e 2) elementos de alta complexidade: correspondentes a conceitos aplicáveis exclusivamente à temática, como coexistência das espécies, velocidades iguais e concentração constante. A partir desses critérios, os dados foram tratados e analisados por meio da análise textual discursiva (Moraes e Galiazzi, 2016) para construção de categorias e posterior elaboração do metatexto.

Resultados e discussões

Categorização dos modelos e da aprendizagem dos discentes

A partir do cruzamento da análise dos dados obtidos nos três instrumentos de coleta, propomos a categorização dos modelos mentais expressos pelos discentes conforme apresentada no Quadro 2, juntamente com as considerações e hipóteses elaboradas para cada modelo, assim como os discentes representantes de cada uma das categorias.

O presente texto é resultado e faz parte de uma pesquisa de mestrado (Mateus, 2019), que teve parte dos resultados apresentados em congresso (Mateus e Ferreira, 2019). Por isso, para esse trabalho, selecionamos, devido à limitação de espaço, alguns trechos argumentativos de questionamentos realizados aos discentes para exemplificação das categorias. Tais trechos correspondem às respostas fornecidas aos seguintes questionamentos: "Que pensamento lhe vem à cabeça ao ouvir falar de equilíbrio químico?", "você imagina uma reação em equilíbrio químico?", "Que pensamento lhe vem à cabeça quando escuta falar de reação química?", "O que é preciso para essa reação que você imaginou acontecer? Por quê?". Somada a essas argumentações orais e escritas, utilizamos como dados para discussões as análises das animações dos alunos.

Modelo	Considerações	Discentes
Mecânico	Constituído basicamente por elementos de baixa complexidade, envolvendo conceitos soltos, desconexos, simplistas e pouco abstratos, baseado na interpretação simbólica e/ou macroscópica do fenômeno.	A1, A3 A6, A7, A8, A9, A10, A11, A13, A14
Parcialmente significativo	Constituído por elementos de baixa complexidade e também pela presença, mesmo que em maior parte mecânica, dos de alta complexidade.	A2, A4
Significativo	Mais se aproxima do modelo conceitual, constituído por elementos de baixa e de alta complexidade conectados.	A5, A12

Quadro 2- Categorização e considerações sobre os modelos mentais dos discentes.

Como já discutido, a formação dos modelos mentais e o processo de aprendizagem, segundo os referenciais teóricos adotados neste trabalho, é de natureza idiossincrática, logo cada um é único e apresenta suas próprias características e particularidades, mas foram categorizados com base naqueles elementos pré-definidos. Sendo assim, nas próximas seções discutiremos cada categoria em maiores detalhes com a finalidade de justificar e validar nossa proposta e hipóteses construídas no decorrer da pesquisa.

Modelo mecânico

Conforme é possível observar nas considerações apresentadas no Quadro 2, os modelos mentais para o conceito de equilíbrio químico expressos pelos discentes categorizados como *modelo mecânico* se mostraram basicamente acompanhados de repetições memorizadas de definições, de concepções alternativas e fortemente atrelados aos níveis simbólico e macroscópico, conforme evidenciado nas seguintes falas:

A3: A velocidade que vai é a velocidade que volta da reação, que decora, né?! É muito difícil de imaginar...

A8: (...) estado máximo da reação, quando não há mais formação de produtos nem reagentes.

A10: (...) tem essa coisa do positivo do negativo, porque um precisa sustentar o outro ... eu penso em estabilidade, sempre penso que há uma estabilidade ou se pode adquirir uma estabilidade a partir de determinados fatores.

A11: Ah, equilíbrio... quando a gente pensa assim em equilíbrio é uma coisa assim que tá assim, balanceada, né? Mais ou menos iguais dos dois lados, então o equilíbrio químico é a mesma coisa, tipo se você estudar dá pra imaginar assim.

Nas falas dos discentes é possível observar a forte presença da concepção alternativa de equilíbrio estático que remete à ideia de estabilidade e ausência de transformações, bem como da ideia de que no equilíbrio as concentrações de reagentes e produtos são iguais. No nosso trabalho, tais concepções foram observadas a partir de manifestações de A6, A7, A8, A10, A11 e A13.

A associação de equilíbrio à um estado no qual não ocorrem mais transformações e/ou às concentrações iguais das espécies tanto por graduandos brasileiros quanto de outras nacionalidades já foi relatada por diferentes autores (Aini et al., 2018, Demircioğlu, Demircioğlu e Yadigarouğlu, 2013; González, 2017; Júnior e Silva, 2009; Santos, Melo e Andrade, 2016; Özmen, 2008; Vetere et al., 2017).

A origem dessas concepções alternativas parece ser derivada de experiências cotidianas concretas com o conceito geral de equilíbrio, como por exemplo, o equilíbrio em uma balança, ou então de outras experiências educacionais, conforme discute González (2017), como os princípios gerais de equilíbrio mecânico, estudados na disciplina de Física. Bergquist e Heikkinen (1990) também apontam que o uso de termos cotidianos (como equilíbrio, mudança, igual, etc.) pode resultar nas ideias diferentes daquelas que o professor pretende ensinar.

Com relação à consideração dos elementos de alta complexidade, que se referem às características específicas do conceito de equilíbrio químico, alguns discentes apenas fizeram menção a eles em determinados momentos. Porém, não de forma espontânea e com pouca frequência, como por exemplo nas seguintes manifestações de A3, ao analisar e diferenciar dois sistemas representados na forma de desenho para predizer se algum deles possivelmente se encontrava em estado de equilíbrio e de A7, ao dizer o que a dupla seta representava:

A3: o sistema da Figura 1 apenas atingiu o equilíbrio químico, pois manteve constante a quantidade de esferas azuis e verdes nos últimos tempos, o que não ocorreu na Figura 2.

A7: tanto para direita quanto pra esquerda tá acontecendo (reação) na mesma velocidade.

No entanto, conforme citado, nenhum discente fez referência aos elementos de alta complexidade de maneira espontânea, revelando a possível memorização de tais características fundamentais do estado de equilíbrio, recordadas ao se depararem com algum estímulo externo (gráfico, figuras, etc.), enquanto que alguns nem fizeram menção a eles,

por exemplo A8, A10, A11 e A13, que não fizeram referência ao fato das velocidades serem iguais no estado de equilíbrio químico.

As animações propostas pelos discentes da presente categoria se mostraram muito semelhantes. Todos eles evidenciaram, por meio de seus filmes, a concepção de equilíbrio como um sistema reversível, porém não simultâneo, pois primeiro foi demonstrada a conversão total dos reagentes em produtos (Figura 2a-c), para então dar início ao processo inverso (Figura 2d-e), também com consumo total dos produtos, de maneira que as espécies não coexistiram, revelando a memorização desse elemento expresso na forma oral ou por meio de desenhos por alguns discentes. A sequência de frames apresentados na Figura 2 representa as animações elaboradas por esses discentes.

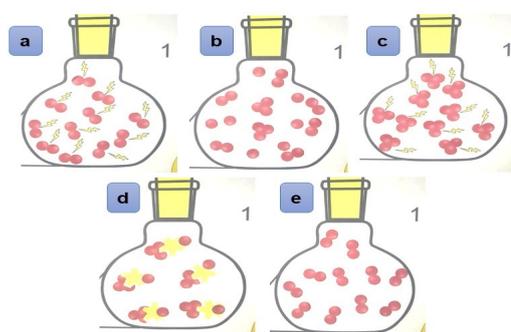


Figura 2 - Sequência de fotografias reduzidas representativas das animações dos discentes da categoria modelo mecânico (Mateus, 2019, p. 70)

Sendo assim, nossos dados revelam, em concordância com outros autores (Júnior e Silva, 2009; Özmen, 2008), ser este um problema que merece atenção por parte dos professores formadores, pois vários licenciandos parecem não conseguir atribuir o significado científico à expressão "velocidades iguais". Isso ocorre porque esse processo de construção de significados, assim como a interpretação de proposições, conforme argumentam Ausubel *et al.* (1980), depende da estrutura cognitiva do sujeito, da construção prévia dos conceitos e das relações destes.

Ainda com relação às animações propostas pelos discentes, elas se assemelharam a uma tentativa de representar por intermédio das espécies no nível atômico-molecular cada etapa reacional individualmente, isto é, uma outra maneira de representar as semi-reações (nível simbólico). Sendo assim, a observação dos filmes dos discentes dessa categoria não permite identificar que o sistema em questão se encontrava no estado de equilíbrio, revelando a inflexibilidade de representação do conceito e a não compreensão deste conceito no nível atômico-molecular, visto que em nenhum filme foi observada a presença dos elementos de alta complexidade.

Apenas foram encontrados alguns elementos de baixa complexidade, como a leve movimentação das espécies no sistema, as interações representadas por choques efetivos e ação da radiação solar sobre as moléculas de gás oxigênio e ozônio. Além disso, algo importante de se

mencionar é que esses licenciandos não evidenciaram a consideração desse estado reacional como dinâmico.

Outra característica comum entre tais discentes está no fato de que em nenhum momento da etapa de coleta eles tentaram descrever uma visão molecular do fenômeno, expressando verbalmente as dificuldades que sentiram ao elaborar as animações e tentar raciocinar nesse nível, conforme evidenciadas em expressões do tipo: "acho difícil pensar nisso", "nunca pensei nisso". González (2017, p. 119), ao propor e analisar um perfil conceitual de equilíbrio químico de estudantes de graduação, também observou que "a negação do aspecto dinâmico de equilíbrio químico é acompanhada da dificuldade relacionada ao nível micro". Dentre as zonas construídas e observadas, àquelas relacionadas aos significados científicos (equilíbrio químico e Le Chatelier) se mostraram pouco desenvolvidas, em contrapartida daquelas associadas às concepções alternativas.

A limitação do aprendiz em transitar e operar no nível submicroscópico parece dificultar a construção de modelos mentais que permitam à atribuição de significados ao estado dinâmico de equilíbrio químico e, assim resultar na aprendizagem com maior caráter significativo próximo ao modelo conceitual, pois conforme bem pontuam Milagres e Justi (2001) "as explicações relativas à existência do estado de equilíbrio e aos processos de tal estado ser atingido e deslocado situam-se no nível microscópico" (p. 42).

Nossos dados revelam que essa dificuldade em visualizar e compreender o conceito de equilíbrio químico no nível atômico-molecular parece ser consequência da concepção prévia, externalizada por eles, do conceito subsunçor de reação química. Pois todos esses discentes também apresentaram visões simplistas, sensoriais e acompanhadas de repetições memorizadas e gerais desse importante conceito, como por exemplo A7, ao dizer que ao pensar em reação química costuma imaginar "(...) um béquer com duas coisas que entram em contato e aí partir do momento que elas estão juntas acontece alguma coisa", ou de A6:

A6: (...) natureza, cotidiano, reação química... nossa... nossa difícil (risos) mas, a envolve tudo, né? Reação química é tudo [...] é... a reação química é a base de tudo, então... mudanças de cor, formação de algum precipitado, esse tipo de coisa...

Já outros licenciandos evidenciaram uma visão mais apegada ao nível simbólico, como por exemplo A11 ao dizer que:

A11: Ah reação química é.... tudo que pode reagir, é.... sei lá, uma equação química, ah não sei, vem mais isso, né? [...] Fórmula na cabeça [...] sei lá... precisa de pelo menos dois reagentes assim, né? Pra ela pode ocorrer, ou se não [...] é.... não sei, um catalisador pra acelerar a reação...

Todos os 10 discentes categorizados como *modelo mecânico* expressaram verbalmente a dificuldade em pensar nos conceitos químicos, e em específico no de equilíbrio no nível submicroscópico. Manifestações como a de A11 ao dizer "eu penso mais na reação química (equação) e tento entender o que tá acontecendo, né? Mas acho difícil" ou de A13 ao dizer que possui facilidade em visualizar "(...) mesmo no escrito, a reação,

os fenômenos que ocorrem assim, mas o choque entre as moléculas eu não consigo imaginar não...”, exemplificam esse fato.

Alguns discentes, como A3, A7, A8 e A9 disseram que não possuem como prática comum pensar nesse nível, mas quando o fazem costumam imaginar “bolinhas que aí vai virar mais bolinhas, imagino tudo colorido”, segundo A7 novamente se apegando ao nível sensorial. Logo, esse conhecimento prévio de reação química, de maneira geral, se mostrou simplista e pouco desenvolvido, tanto conceitualmente quanto no nível atômico-molecular, pois não envolveu a presença de fatores cinéticos básicos, como a movimentação e interação das espécies.

Portanto, propomos que a dificuldade desses licenciandos em explicar o estado dinâmico de equilíbrio químico parece estar relacionada a não existência da presença do conceito subsunçor de reação química desenvolvido no nível submicroscópico, de maneira que os discentes memorizaram o conceito e suas características devido a construção de modelos mecânicos resultantes na aprendizagem predominantemente mecânica.

Diferentes trabalhos colaboram com essa nossa discussão envolvendo a importância do nível submicroscópico para compreensão do conceito de equilíbrio químico, além de González (2017), como por exemplo o de Vetere et al. (2017), que também relataram problemas de transferência representacional entre os níveis simbólico (equação química) e submicroscópico, evidenciando a concepção de compartimentalização do sistema e um conhecimento não significativo. Já as dificuldades em entender o conceito das espécies envolvidas no sistema por graduandos também foram relatadas por Aini et al. (2018).

Nessa direção, Cutreta e Stipcich (2016) colaboram com as discussões ao propor, baseados na triangulação de Johnstone (2000), que o sucesso da aprendizagem em química implica na possibilidade da realização de associações mentais entre tais níveis, utilizando para isso os diferentes modos de representação.

A pesquisa envolvendo os modelos mentais sobre o equilíbrio químico de licenciandos desenvolvida por Santos, Melo e Andrade (2016), também traz considerações importantes. Segundo os dados apresentados e discutidos pelas autoras, os discentes de licenciatura em Química investigados por elas apresentaram modelos mentais com características semelhantes ao da categoria *modelo mecânico*. No geral, esses discentes também se apegaram ao nível macroscópico do fenômeno, o que não permitiu a compreensão da coexistência das espécies, sendo transferido para seus modelos de equilíbrio químico, ideias do senso comum. As autoras ainda discutem que esses modelos apresentaram falhas no que diz respeito às características fundamentais de equilíbrio químico (simultaneidade e concentração constante).

Encontramos em Gibin (2015) considerações que corroboram com o exposto quando o autor propõe que a construção de modelos mentais de conceitos químicos, mais próximos do científico, envolve os três diferentes níveis representacionais do conhecimento químico. Por isso, concordamos com Silva e Amaral (2017) ao considerarem que a transição entre os níveis

de compreensão e representação do conceito de equilíbrio químico pode proporcionar uma aprendizagem ampla e significativa.

No entanto, conforme mencionado, além dos problemas associados as transições entre os níveis representacionais, nossos dados sugerem que a construção de modelos mentais predominantemente mecânicos tem se efetivado devido a existência de subsunçores não adequados, no caso o conceito de reação química. Diferentes autores também associaram problemas envolvendo aprendizagens prévias de conceitos químicos com a compreensão de equilíbrio químico nos diferentes níveis de ensino.

Silva e Amaral (2017) discutem que devido a temática de equilíbrio químico apresentar significativa hierarquia conceitual, sua compreensão está relacionada a outros conceitos, como o de termodinâmica e reações químicas. Já Satriana et al. (2018) sugerem que a compreensão prévia dos conceitos de concentração e estequiometria também são importantes para aprendizagem de equilíbrio químico, discutindo que quando os estudantes relacionam as novas informações em suas estruturas cognitivas que já possuem conhecimentos inapropriados e/ou concepções alternativas, isso acaba interferindo na aprendizagem subsequente.

Em concordância com esses resultados, Aini et al. (2018) também avaliaram e propuseram que a incompreensão de conceitos envolvendo reação química, concentração e estequiometria, por parte de graduandos, resultaram nas confusões associadas às reações em equilíbrio químico. Os autores também compartilham da concepção de que os conhecimentos prévios deficientes ou incoerentes podem resultar na construção de novos conhecimentos imprecisos.

Somado a isso, nossa hipótese também é reforçada a partir das evidências apresentadas sobre a persistência da associação e explicação do conceito a concepções alternativas. Essa persistência mesmo após os discentes já terem estudado e obtido aprovação em disciplinas que abordavam o conteúdo, sugere que professores formadores não consideraram o conhecimento prévio dos licenciandos, podendo evidenciar problemas nos processos de ensino, aprendizagem e avaliação da aprendizagem. Críticas semelhantes ao modelo de avaliação da aprendizagem de equilíbrio químico também foram realizadas por Vetere et al. (2017).

Com relação aos problemas de ensino na formação inicial, o trabalho de Santos, Melo e Andrade (2016, p. 53) corrobora com nossa hipótese ao discutirem que os licenciandos participantes da pesquisa não estavam acostumados com questionamentos sobre a temática que exigiam reflexões qualitativas, concluindo que "a resolução de exercícios com aspectos unicamente quantitativos sem uma abordagem qualitativa é característica da formação desses licenciandos".

Nessa perspectiva, nosso trabalho, em concordância com a literatura, evidencia que o processo formativo desses licenciandos não parece ter sido suficiente para superar as barreiras criadas pelas concepções prévias, não permitindo um desenvolvimento e crescimento cognitivo.

Dessa maneira, reforçamos a colocação de Santos, Melo e Andrade (2016, p. 53), sobre a necessidade de repensarmos os processos de ensino

e aprendizagem (e avaliação) de equilíbrio químico numa perspectiva de enriquecimento das concepções iniciais dos alunos, pois "se as concepções alternativas são responsáveis pelos primeiros passos na construção de um modelo mental estas devem ser levadas em consideração e fazer parte do processo de construção do conhecimento".

Assim, cabe ao professor possibilitar que os conhecimentos e significados dos alunos se ampliem (Melo e Silva, 2019). Pois, em concordância com Satriana et al. (2018), as concepções alternativas atreladas ao equilíbrio químico (em particular a manutenção destas), são também resultantes de métodos de ensino inapropriados (ensino mecânico, tradicional). Essas discussões são coerentes com a sugestão de Talanquer (2018) sobre a necessidade de envolver os professores em discussões e reflexões sobre os diferentes modos de pensamento e raciocínio em química.

Do exposto, no geral, os alunos pertencentes a categoria modelo mecânico apresentaram dificuldades em explicar o conceito e considerar suas características, principalmente no nível submicroscópico, evidenciando a aprendizagem predominantemente mecânica. Na sequência, discutimos a categoria modelo parcialmente significativo.

Modelo parcialmente significativo

Os modelos mentais expressos pelas licenciandas A2 e A4, constituintes da categoria modelo parcialmente significativo permitiram, de uma maneira geral, que elas conseguissem descrever o conceito de equilíbrio químico incluindo alguns fatores cinéticos e alguns elementos de alta complexidade, mesmo que predominantemente memorizados, conforme é possível observar na seguinte explanação espontânea de A2 sobre o que vem em sua mente ao ouvir a expressão equilíbrio químico:

A2: (...) a reação tá acontecendo indo e vindo.... Teria uma quantidade de moléculas reagindo, daí elas vão se transformar em produtos, mas daí depois de um certo momento, elas vão voltar pra formar o que elas eram antes, daí vai ficar nesse ciclo.

É possível observar que a discente incluiu em suas argumentações a reversibilidade e dinamicidade do processo e certa visão cinética no nível atômico-molecular do processo, que por sua vez parece ser consequência de sua visão prévia, também parcialmente desenvolvida para o conceito de reação química, no qual A2 imagina que:

A2: os átomos estão lá todos movimentando e daí eles tem uma certa afinidade de um querer assim reagir com o outro, e daí, nessa agitação eles acabam se chocando de uma maneira que é mais, é mais estável pra eles continuar daquela maneira que ele ficou depois do choque do que voltar pra maneira que eles eram antes.

Logo, sua compreensão submicroscópica se mostrou um pouco mais desenvolvida do que as dos discentes pertencentes a categoria modelo mecânico, incluindo algumas noções cinéticas básicas, como agitação, movimentação e choque interatômico/intermolecular, resultantes em produtos que assim se mantem devido serem mais estáveis, ou seja, ela atribuiu uma causalidade termodinâmica ao processo.

A discente A4 também revelou uma visão parcialmente desenvolvida no nível submicroscópico para o conceito subsunçor de reação química, dizendo, sobre o sistema que:

A4: (...) no negócio do choque efetivo eu não consigo imaginar o tempo todo as moléculas se chocando, mas eu imagino tipo aquela que, vamos dizer, aquela que é meu alvo assim, chegando perto da outra e tendo o choque e aí pra acontecer a reação, aí isso eu consigo, mas o constante assim dos choques não.

Essa sua visão mental que parece estar atrelada ao nível simbólico com certo desenvolvimento no nível submicroscópico, no qual o processo ocorre etapa por etapa segundo o mecanismo reacional, parece ter influenciado a visualização atômico-molecular da discente sobre o estado dinâmico de equilíbrio químico, dificultando a aprendizagem da simultaneidade do processo (nível submicroscópico), conforme já discutido neste trabalho, e em concordância com outros autores (García-Lopera et al., 2014; González, 2017). Tal hipótese é evidenciada em sua fala ao tentar explicar o que vem à mente ao ouvir a expressão equilíbrio químico:

A4: é bem, bem ruim meu pensamento, mas como se fosse um por um, assim sabe? Por vez formando, e não formando todos de uma vez, é... E chegando em um momento de formada e voltada, forma e volta..., mas eu penso bem passo a passo, só um por um por um, dois no máximo eu consigo imaginar, daí depois chega no momento que se mantém constante...

Nessa explicação é possível observar a dificuldade da licencianda em visualizar as transformações simultâneas e o sistema como um todo. Sua explicação também permite observar uma visão semelhante àquela sua concepção prévia de reação química. No entanto, A4 parece ter incorporado em seu modelo subsunçor a reversibilidade do equilíbrio químico, evidenciado ao considerar que "da mesma forma que tá formando reagente tá formando produto", se referindo a reversibilidade do processo.

Portanto, de acordo com nossos dados, essa visão cinética molecular parcialmente desenvolvida observada por meio de manifestações de A2 e A4 parece ter influenciado suas compreensões do conceito de equilíbrio químico, que conforme discutido, também envolveu certa concepção de movimentação e interação entre as espécies e de um estado dinâmico e reversível observado em diferentes momentos nas argumentações das licenciandas. Elas chegaram a considerar que nesse estado as velocidades das reações direta e inversa são iguais.

Entretanto, ao comparar as argumentações escritas ou orais fornecidas por A2 e A4 com as animações elaboradas por elas, ambas apresentam aquela mesma concepção já relatada na literatura e observada nos discentes da categoria modelo mecânico, de sistema reversível, porém não simultâneo. Isso porque ambas demonstraram novamente o processo direto (formação das moléculas de ozônio), seguido do processo inverso (formação das moléculas de oxigênio). No entanto, nas animações as discentes deram indícios da consideração de alguns elementos de alta complexidade: a coexistência das espécies, no caso de A2, e da simultaneidade do processo, no caso de A4.

A animação de A2, apresentada mediante alguns frames na Figura 3, revela que a discente considerou em um determinado momento a coexistência dos gases ozônio e oxigênio durante o dia (Figura 3f). No entanto, na análise da animação noturna (Figura 3g-h) tal elemento não foi considerado. Já na entrevista e no questionário, esse elemento foi novamente considerado pela discente, porém em situações não espontâneas, como por exemplo, ao propor um desenho representativo do estado de equilíbrio para uma reação genérica formada pelos reagentes A e B e produtos C e D, no qual primeiramente fez representando apenas os produtos e então, pareceu se recordar da definição de equilíbrio, corrigindo seu desenho com a adição de reagentes.

Na animação de A4, novamente foi observada aquela visão atômico-molecular limitada em etapas das interações entre as espécies, pois a discente representou uma determinada etapa reacional (quebra de moléculas e/ou interações entre as espécies) para uma ou duas moléculas de gases por vez, mas, diferentemente dos discentes pertencentes a categoria *modelo mecânico* e de A2, repetiu diversas vezes as quebras das moléculas de $O_{3(g)}$ para formação de $O_{2(g)}$, e de $O_{2(g)}$ para formação de $O_{3(g)}$, revelando uma tentativa em demonstrar que esses processos ocorriam o tempo todo e ao mesmo tempo. Somado a isso, a discente optou por manter no cenário da animação cada etapa reacional realizada com o objetivo de “deixar a entender que outras moléculas estavam fazendo esse processo todo também (...) dizendo que essa reação é contínua”.

Assim, A4 não demonstrou as quebras concomitantes das moléculas de ozônio e oxigênio, no entanto, utilizou desse artifício da manutenção das etapas reacionais para tentar representar a ocorrência simultânea dos processos direto e inverso, o que também acabou fazendo com que fosse representada a coexistência. Essas discussões evidenciam que A4, assim como A2, associou o conceito de equilíbrio químico não a um estado estático, mas sim a um estado dinâmico de constantes interações, mesmo apresentando dificuldades em visualizar tais fenômenos. Nossa hipótese é reforçada pela análise da fala de A2 sobre o processo de elaboração de seu filme, ao dizer que teve como dificuldade central “explicar como o equilíbrio está acontecendo, ou seja, como o oxigênio molecular é transformado em oxigênio atômico, mas, ao mesmo tempo, o oxigênio atômico choca-se com outro oxigênio atômico e forma o oxigênio molecular”.

Essa dificuldade em transitar e operar no nível submicroscópico parece ter prejudicado a compreensão do fenômeno como sendo simultâneo, conforme já discutido, e conseqüentemente influenciou a atribuição de significados à coexistência das espécies no meio reacional e da manutenção das concentrações constantes. A própria consideração de um sistema reacional que se mantém “indo e vindo” (A2), ou de “formada e voltada” (A4), também evidenciada por meio das animações, poderia justificar essa incompreensão.

Novamente, atribuímos e explicamos tal limitação a não existência de um modelo mental no nível submicroscópico suficientemente desenvolvido para o conceito prévio de reação química, de maneira a não permitir a visualização da simultaneidade nesse nível e de considerar as propriedades cinéticas das espécies.

Isto porque, conforme discute Kill (2009), quando o aprendiz não concebe as transformações como processos envolvendo a quebra e formação de ligações, o que implica na compreensão significativa de como ocorre o processo em termos de colisões entre as espécies, este apresentará dificuldades em entender a dinamicidade do estado de equilíbrio.



Figura 3 - Sequência de fotografias reduzidas representativas das animações das discentes da categoria *modelo parcialmente significativo* (Mateus, 2019, p. 95).

De maneira geral, as discentes A2 e A4 demonstraram ter conseguido ultrapassar as visões sensoriais atreladas às concepções alternativas de equilíbrio. Foram observadas argumentações utilizando suas próprias palavras para se referir ao estado de equilíbrio químico, e referências mais frequentes aos elementos de alta complexidade (mesmo que de forma memorizada e/ou equivocada, devido à limitação nas representações de nível submicroscópico). Elas também demonstraram certa compreensão do fenômeno a nível molecular, o que parece estar relacionado com suas visões consideravelmente mais desenvolvidas, também nesse nível, do conceito subsunçor de reação química.

Essa compreensão razoável sobre o tema externalizada por elas, inclusive no nível atômico, ocorreu, com base nos nossos referenciais, devido ao fato de que seus modelos mentais terem sido construídos a partir da ancoragem em conceitos prévios (elementos de baixa complexidade) mais significativos, permitindo a compreensão do estado de equilíbrio mais próximo do modelo conceitual que a dos discentes caracterizados como modelo mecânico.

Modelo significativo

Os modelos mentais expressos por meio das manifestações de A5 e A12 se mostraram próximos ao modelo conceitual. Neles foram observadas discussões e visualizações consideravelmente desenvolvidas no nível atômico-molecular para o estado dinâmico de equilíbrio químico, acompanhadas de argumentações envolvendo relações de causa e efeito, conforme evidenciadas na seguinte explicação espontânea de A5 ao revelar o que vinha em sua mente ao ouvir a expressão equilíbrio químico:

A5: [para uma reação de decomposição] (...) um sistema inicial que tem só o reagente A eles estão ali tão interagindo, alguns se transformando em produto, aí a concentração de produto começa a

aumentar, ocasionalmente, como você tem mais produto, você aumenta a interação entre moléculas de produto, então vai chegar um momento em que vai começar, né?! Os choques efetivos entre os produtos e vai fazer com que eles comecem a se transformar em reagentes.

Com base nessas argumentações, é possível observar a visualização desse sistema imaginado por A5, no qual se apoiou durante toda a etapa de coleta de dados para propor explicações frente as situações apresentadas. Essa visão cinética desenvolvida no nível submicroscópico parece ser consequência, novamente, da presença do conceito subsunçor de reação química também consideravelmente desenvolvido nesse nível, no qual imagina um sistema que:

A5: (...) tem determinado reagentes A eles estão lá dentro do sistema, eles estão colidindo, algumas colisões são efetiva, e aí transforma em produto, e daí por ter o produto no sistema também, eles começam também a interagir.

À essa visão subsunçora, o discente parece ter incorporado tanto a reversibilidade quanto a dinamicidade do processo, também observadas em diferentes momentos nas manifestações do discente A12, como por exemplo ao associar espontaneamente o conceito a um estado dinâmico no qual "as transformações não cessam, mas sim acontecem com a mesma velocidade, ou seja, não há variação nas concentrações", revelando ter clara a concepção da dinamicidade e da simultaneidade do processo que implicou na compreensão da manutenção quantitativa das espécies no meio reacional.

A nossa hipótese da incorporação da reversibilidade e simultaneidade do estado de equilíbrio ao modelo mental construído pelos discentes de maneira significativa é reforçada pelo fato de ambos terem sido os únicos licenciandos a justificarem (e relacionarem) espontaneamente a manutenção quantitativa de reagentes e produtos no meio reacional com o fato das velocidades serem iguais. Tal relação novamente é reforçada na seguinte fala de A5:

A5: (...) ela (reação) vai atingir o equilíbrio no momento em que a velocidade dos dois processos vão ser idênticos, isso significa que se você pegar por exemplo uma análise no mesmo Δt você percebe que a concentração de A e de B, você percebe que elas se mantem constante, elas não se altera mais, justamente pelo fato de o processo (velocidade) direto e o processo inverso é idêntico.

Outro fator que colabora para nossa hipótese está no fato dos discentes também terem sido os únicos a demonstrarem os elementos de alta complexidade nas animações, conforme observado nos frames representativos da animação de A5 na Figura 4. De acordo com a Figura 4, os discentes representaram a simultaneidade das reações por meio da quebra concomitante das moléculas de ozônio e oxigênio. Além disso, eles representaram a coexistência dos gases em todos os momentos.

A análise quantitativa das espécies nos frames de A5 permite observar a consideração da manutenção quantitativa de reagentes e produtos, pois o

filme inicia e termina com as mesmas quantidades de O_2 e O_3 (8 e 4, respectivamente).

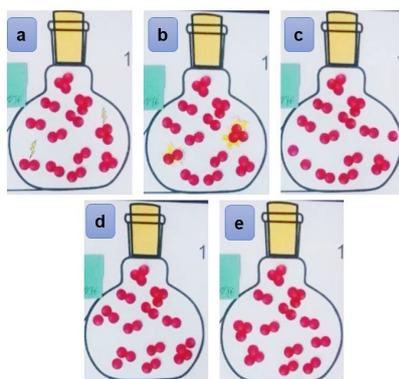


Figura 4.- Sequência de fotografias reduzidas representativas das animações dos discentes da categoria modelo significativo (Mateus, 2019, p. 107).

Já na animação de A12, foi representado o favorecimento reacional, com maiores quantidades de gás ozônio durante a animação diurna, e de oxigênio durante a noite, conforme evidenciado na seguinte argumentação do discente sobre sua animação:

A12: Os raios solares incidem sobre o sistema e provoca a reação de formação do ozônio pela decomposição de algumas moléculas de oxigênio [...] ao mesmo tempo, têm-se a decomposição do ozônio e consequente formação do gás oxigênio, porém em quantidades relativamente menores que a reação da formação do ozônio.

Com relação ao discente A12, as argumentações espontâneas expressas de maneira oral ao refletir e propor um desenho representativo sobre um possível estado de equilíbrio, para uma reação genérica formada pelos reagentes A e B, tendo como produtos as espécies C e D, colaboram com a nossa hipótese de aprendizagem predominantemente significativa do conceito e próxima do significado científico. Cabe ressaltar que ele foi o único a considerar que seria necessária uma constante de equilíbrio para poder predizer qual espécie seria mais favorecida e assim, poder representar tal situação hipotética. Segundo o licenciando:

A12: (...) olha, quantitativamente falando eu não sei quanto reage e quanto forma de cada um, por isso você pode ter concentrações maiores dos reagentes e produtos, de acordo com o equilíbrio vai favorecer [...] claro eu não tenho nenhum dado do exercício, nenhuma consideração do exercício [...], mas o equilíbrio por ser uma reação reversível, você tem justamente a formação dos quatros compostos, por ser uma reação reversível você sempre vai ter a formação dos reagentes ou produtos. Mas sei lá, mas supondo que é mais estável a situação C e D em relação A e B eu poderia representar, sei lá, a nível simbólico dessa maneira [maiores quantidades de C e D do que A e B].

De acordo com essas discussões, A5 e A12 aparentaram ter construído seus modelos mentais predominantemente significativos e próximos ao científico sobre o conceito de equilíbrio químico, o que parece ter ocorrido a partir da ancoragem em um conhecimento prévio de reação química

adequado, que incluía aspectos cinéticos. Por sua vez, isso parece ter resultado no entendimento de que o equilíbrio químico é um estado dinâmico em que ambas as reações (direta e inversa) estão ocorrendo com mesma velocidade, ou seja, são simultâneas.

Assim, de maneira geral, A5 e A12 apresentaram boa compreensão do conceito nos diferentes níveis representacionais (e suas relações) acompanhadas de explicações envolvendo relações de “causa-efeito” e flexibilidade considerável de aplicação às diferentes situações apresentadas, evidenciando características da aprendizagem significativa. Outra evidência dessa aprendizagem corresponde ao fato de os discentes demonstrarem confiança e facilidade ao propor explicações para o fenômeno em todos os instrumentos de coleta de dados, por meio de suas próprias manifestações.

Conforme discute Moreira (1996), ao explicar algo, o sujeito utiliza um esquema estrutural, seguido na construção do modelo mental, que o permite compreender uma dada situação e, assim propor uma explicação. Esse modelo construído pode resultar num entendimento e numa explicação compatível ou não com o aceito cientificamente, pois diversos elementos estão relacionados nesse processo, como a capacidade de cognição do indivíduo (Santos, Melo e Andrade, 2016). Assim, nossos dados sugerem que a existência do conceito subsunçor de reação química desenvolvido (inclusive no nível submicroscópico) parece ser outro elemento importante para construção de um modelo mental de equilíbrio químico mais próximo do conceitual e de uma aprendizagem significativa.

Afinal, conforme discutido, é por meio da construção de modelos mentais (Johnson-Laird, 1983) e da compreensão significativa (Ausubel et al., 1980) sobre determinado conceito que o sujeito consegue explicar, prever, demonstrar, fazer inferências e previsões sobre determinado conceito, ou então utilizando desse conceito, citar aplicações e/ou aplicar o conhecimento em diferentes situações.

As discussões construídas no presente trabalho, relacionadas com investigações recentes envolvendo a temática, nos levam a refletir sobre estratégias didáticas, incluindo os padrões de interação adotados em sua abordagem. Silva e Amaral (2017) trazem contribuições importantes nesse sentido. Ao analisarem a relação entre estratégias didáticas e interações discursivas adotadas por dois professores durante aulas de equilíbrio químico no Ensino Médio, constataram o predomínio do ensino tradicional, também comum no ensino superior. No geral, a estratégia didática predominante foi a exposição oral do conteúdo, acompanhada de explicações que exploram o nível simbólico e a reprodução de representações e definições para o conceito, prevalecendo “a apresentação de significados estabilizados da ciência escolar, o que não garante uma aprendizagem significativa por parte dos estudantes” (Silva e Amaral, 2017, p. 1005).

Outro ponto importante que destacamos a partir do trabalho das autoras (Silva e Amaral, *op cit.*) é que ele reforça nossas discussões ao revelar que diálogos tendem a não ser estabelecidos em sala de aula, o que impossibilita o trabalho com as concepções iniciais dos estudantes. Com relação à abordagem de conceitos químicos unicamente por meio de exposição oral, Cutreeta e Stipcich (2016) pontuam que quando essa prática

é realizada por meio do uso naturalizado da linguagem, isto é, não reflexivo, pode resultar em relações equivocadas, no contexto da nossa pesquisa, em modelos mecânicos. Assim, se torna indispensável que ao trabalhar com o conceito de equilíbrio químico, o educador estimule a interação com seus alunos e destes com os diferentes níveis representacionais da química.

Conclusões

Observamos que para o licenciando construir um modelo mental para o conceito de equilíbrio químico que resulte na aprendizagem com maior caráter significativo e próximo ao modelo conceitual, é necessário que ele supere as visões simplistas e concretas advindas de suas experiências sensoriais cotidianas. Além disso, também parece ser importante e necessária a existência de conhecimentos prévios consideravelmente desenvolvidos e adequados, inclusive no nível atômico-molecular do conceito subsunçor de reação química, de maneira a permitir a compreensão significativa nesse nível da dinamicidade e simultaneidade do processo.

A assimilação significativa da dinamicidade, reversibilidade e simultaneidade em nível submicroscópico parece ser fundamental para a compreensão, também predominantemente significativa, da coexistência e da manutenção quantitativa de reagentes e produtos no sistema em equilíbrio.

Devido a maioria dos discentes não apresentarem subsunçores desenvolvidos, operando basicamente nos níveis simbólico e macroscópico, bem como suas concepções aparentemente não serem consideradas nos processos de ensino e aprendizagem do conceito, a construção de seus modelos e, portanto, da aprendizagem parece ter sido prejudicada. Como consequência, os alunos memorizaram os conceitos de alta complexidade e não conseguiram ultrapassar a barreira dos conhecimentos prévios.

Esclarecemos que a discussão sobre a importância da valorização do nível submicroscópico no processo de ensino e aprendizagem de conceitos químicos, não o fizemos com a intenção de classificá-lo como o mais importante. Nenhum nível representacional é inferior ou superior, todos se complementam (Cutreta e Sptipcich, 2016). O que discutimos é que, apesar da importância de ambos para a construção de modelos mentais significativos, o simbólico tende a ser o mais abordado (quando não o único) nas aulas de química (Gibin, 2015; Silva e Amaral, 2017), e isso pode comprometer a aprendizagem de conceitos.

Dessa maneira, nesse trabalho reforçamos a importância e necessidade dos professores formadores compreenderem e valorizarem aquilo que seus alunos já trazem de conhecimento para a sala de aula, pois apesar do conceito de equilíbrio químico estar restrito a disciplina de Química, os alunos já apresentam concepções de equilíbrio (concepções alternativas), que podem atuar como barreiras para a atribuição do significado científico a esse estado reacional, conforme sugerem Silva (2016) e González (2017).

Portanto, sugerimos que o motivo de muitos discentes apresentarem problemas relacionados a compreensão do conceito parece estar atrelada a

aprendizagem predominantemente mecânica para o conceito. Logo, acreditamos que a superação dos problemas relacionados aos processos de ensino e aprendizagem do conceito de equilíbrio químico só será possível se professores formadores de fato conhecerem as concepções prévias que seus alunos apresentam, considerando e relacionando tais informações nos processos de ensino e aprendizagem.

Agradecimentos

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

Referencias bibliográficas

Aini, F. Q., Fitriza, F., Gazali, F., e Mawardi. (2018). First-year university students' understanding of chemical equilibrium. *Journal of Physics: Conference Series*, 1280(2019), 032018. doi: [10.1088/1742-6596/1280/3/032018](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1280/3/032018).

Ausubel, D. O., Novak, J. D., e Hanesian, H. (1980). *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.

Bachelard, G. A. (1996). *Formação do Espírito Científico: contribuição para a psicanálise do conhecimento*. Tradução Esteia dos Santos Abreu. São Paulo: Contraponto.

Bergquist, W., e Heikkinen, H. (1990). Student ideas regarding chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67(12), 1000-1003. doi: <https://doi.org/10.1021/ed067p1000>

Cutreta, G., e Stipcich, S. (2016). 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*, 3(6).

Demircioğlu, G., Demircioğlu, H., e Yadigaroglu, M. (2013). An investigation of chemistry student teachers' understanding of chemical equilibrium. *International Journal on New Trends in Education and Their Implications*, 4(2), 192-199. Recuperado de <http://www.ijonte.org/FileUpload/ks63207/File/19b.demircioglu.pdf>

García-Lopera, R., Calatayud, M. L., e Hernández, J. (2014). A brief review on the contributions to the knowledge of the difficulties and misconceptions in understanding the chemical equilibrium. (2014). *Asian Journal of Education and e-Learning*, 2(6), 448-463. Recuperado de <https://ajournalonline.com/index.php/AJEEL/article/view/1918>

Gibin, G. B. (2013). Atividades experimentais investigativas como contribuição ao desenvolvimento de modelos mentais de conceitos químicos. (Tese Doutorado em Ciências). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Gibin, G. B. (2015). As dificuldades de compreensão sobre o conceito de solução representado em nível submicroscópico por estudantes latino-americanos. *Revista Debates em Ensino de Química*, 1(1), 72-81.

Gibin, G. B., e Ferreira, L. H. (2012). Estudo dos modelos mentais cinemáticos/dinâmicos sobre sistema heterogêneo por meio da produção de animações pelos estudantes. *XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ)*. Salvador, BA.

González, W. O. L. (2017). El perfil conceptual del equilibrio químico de estudiantes universitarios de Educación. *Educere*, 21(68), 113-126. Recuperado de <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/educere/article/view/11389/21921922508>

Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge: Harvard University Press.

Johnstone, A. H. (2000). Chemical education research: where from here? *University Chemical Education*, 4(1), 34-38.

Júnior, J. C. T., e Silva, R. M. G. (2009). Investigando a temática sobre equilíbrio químico na formação inicial docente. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 571-592. Recuperado de <http://reec.educacioneditora.net/>

Kill, K. B. (2009). *Caracterização de imagens em livros didáticos e suas contribuições para o processo de significação do conceito de equilíbrio químico* (Tese Doutorado em Ciências). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Mateus, P. G. (2019). *Levantamento de modelos mentais para verificação de aprendizagem significativa do conceito de equilíbrio químico em licenciandos em Química* (Dissertação Mestrado em Química). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Mateus, P. G., Ferreira, L. H. (2019). Verificação da ocorrência de aprendizagem significativa do conceito de equilíbrio químico por licenciandos através da investigação de seus modelos mentais. *IX Encontro Internacional de Aprendizagem Significativa (IX EIAS)*, Sorocaba, pp. 42-51.

Melo, M. S., e Silva, R. R. (2019). Os três níveis do conhecimento químico: dificuldades dos alunos na transição entre o macro, o submicro e o representacional. *Revista Exitus*, 9(5), 301-330. doi: [10.24065/2237-9460.9460.2019v9n5ID1109](https://doi.org/10.24065/2237-9460.9460.2019v9n5ID1109)

Milagres, V. S. O., e Justi, R. S. (2001). Modelos de ensino de equilíbrio químico- algumas considerações sobre o que tem sido apresentado em livros didáticos no Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, 13, 41 - 46.

Moraes, R., e Galiazzi, M. C. (2016). *Análise textual discursiva*. Ijuí: Unijuí.

Moreira, M. A. (1996). Modelos mentais. *Investigação em Ensino de Ciências*, 1(3), 193-232. Recuperado de: http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID17/v1_n3_a1.pdf

Moreira, M. A. (1997). Aprendizagem significativa: um conceito subjacente". *II Encuentro Internacional sobre el aprendizaje significativo (II EIAS)*. Burgos. Anais do II EIAS. Universidad de Burgos, pp. 19-44.

Moreira, M. A. (2012). ¿Al final, qué es aprendizaje significativo? *Revista Currículum*, 25, 29-56.

Moreira, M. A., e Greca, I. M. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência & Educação*, 9(2), 301-315. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132003000200010>.

Özmen, H. (2008). Determination of students' alternative conceptions about chemical equilibrium: a review of research and the case of Turkey. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 225-233. doi: [10.1039/B812411F](https://doi.org/10.1039/B812411F)

Piva, G. M., Almeida, L. F., Kohori, R. K., e Gibin, G. B. (2019). Desenvolvimento de modelos mentais por meio da elaboração e aplicação de modelos físicos alternativos para o ensino de atomística. *Revista Ciências e Ideias*, 10(2), 210-230. doi: [10.22047/2176-1477/2019.v10i2.1116](https://doi.org/10.22047/2176-1477/2019.v10i2.1116)

Raviolo, A., e Aznar, M. M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. *Educación Química*, 14(3), 159-165. doi: [10.22201/fq.18708404e.2003.3.66244](https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2003.3.66244)

Santos, A. C. O., Andrade, T. S., e Izaias, R. D. (2016). Concepções de equilíbrio e equilíbrio químico: Uma alternativa para a construção do conhecimento científico. *XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ)*. Florianópolis.

Santos, A. C. O., Melo, M. R., e Andrade, T.S. (2016) Identificando modelos mentais de equilíbrio químico: uma alternativa para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem. *Revista Fórum identidades*, 19(9), 35-56.

Satriana, T., Yamtinah, S., Ashadi e Indriyanti, N. Y. (2018). Student's profile of misconception in chemical equilibrium. *Journal of Physics: Conference Series*, 1097, 012066. doi: [10.1088/1742-6596/1097/1/012066](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1097/1/012066)

Silva, D. V. (2016). Reflexões sobre obstáculos epistemológicos e níveis de representação na aprendizagem do conceito de equilíbrio químico. *Revista Ensaio e Pesquisa*, 14(suplemento), 132-141.

Silva, J. C. S., e Amaral, E. M. R. (2017) Uma análise de estratégias didáticas e padrões de interação presentes em aulas sobre equilíbrio químico. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(3), 985-1009. doi: [10.28976/1984-2686rbpec2017173985](https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2017173985)

Souza, E. S. R. (2013). A formação de modelos mentais na sala de aula. *Revista Exitus*, 3(1), 69-184.

Talanquer, V. (2018). Importance of understanding fundamental chemical mechanisms. *Journal of Chemical Education*, 95, 1905-1911. doi: [10.1021/acs.jchemed.8b00508](https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00508)

Vetere, V., Cappannini, O., Espíndola, C. (2017). Dificultades en la comprensión de equilibrio químico en estudiantes de primer año universitario. *I Jornadas sobre Enseñanza y Aprendizaje en el Nivel Superior en Ciencias Exactas y Naturales*. La Plata, Argentina. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/76079>.