



Objetos dinâmico-táteis como mediadores na construção de modelos mentais de conceitos químicos por um discente cego

Dynamic-tactile objects as mediators in the construction of mental models of chemical concepts by a blind student

Objetos dinâmico-táctiles como mediadores en la construcción de modelos mentales de conceptos químicos en un estudiante ciego

DOI: 10.55905/revconv.17n.12-303

Originals received: 10/21/2024

Acceptance for publication: 11/14/2024

Marcos Antonio Pereira da Silva

Mestre em Ensino de Ciências

Instituição: Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Endereço: Ouro Preto – Minas Gerais, Brasil

E-mail: raggazzi@hotmail.com

Sandra de Oliveira Franco-Patrocínio

Doutora em Química

Instituição: Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

Endereço: Ouro Preto – Minas Gerais, Brasil

E-mail: sandrapatrocinio@ufop.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2966-5415>

Jomara Mendes Fernandes

Doutora em Química

Instituição: Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

Endereço: Ouro Preto – Minas Gerais, Brasil

E-mail: jomara.fernandes@ufba.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3756-7521>

RESUMO

O artigo tem por objetivo discutir o uso de um novo recurso didático: o objeto dinâmico-tátil (ODT) como mediador na construção de modelos mentais de conceitos químicos - sendo eles eletronegatividade, de momento de dipolo elétrico e de polaridade de moléculas - por um estudante com deficiência visual (ECDV). Essa pesquisa é de natureza qualitativa e se deu por um estudo de caso único. Para a geração dos dados, foram ministradas aulas para um ECDV, que ficaram registradas em áudio e em vídeo. Os resultados advindos do primeiro momento da pesquisa revelaram que o ECDV considera primordial o uso de recursos táteis para facilitar o aprendizado. Durante a validação dos ODTs, o cego ao interagir com a tensão em uma borracha elástica e ao aproximar ou afastar ímãs, experimentou tatilmente o nível sensorial muscular, o que possibilitou uma integração dinâmica e simultânea de informações sobre a entidade a ser modelada, auxiliando na construção de modelos mentais dos fenômenos estudados.

Palavras-chave: objeto dinâmico-tátil, deficiência visual, modelos mentais, polaridade de moléculas.

ABSTRACT

This article aims to discuss the use of a new didactic resource: the dynamic-tactile object (DTO) as mediator in the construction of mental models of chemical concepts - being electronegativity, electric dipole moment and polarity of molecules - for a student with visual impairment (VIS). This research is of a qualitative nature and was based on a single-case study. For data generation, classes were taught for a VIS, which were recorded in audio and video. The results from the first moment of the research revealed that the VIS considers the use of tactile resources to facilitate learning to be essential. During the validation of the DTO's, the blind person, when interacting with the tension in an elastic rubber and when approaching or moving magnets, tactilely experienced the muscular sensorial level, which allowed a dynamic and simultaneous integration of information about the entity to be modeled, helping in the construction of mental models of the studied phenomena.

Keywords: dynamic-tactile object. visual impairment. mental models. polarity of molecules.

RESUMEN

El artículo tiene por objetivo discutir el uso de un nuevo recurso didáctico: el Objeto Dinámico Táctil (ODT) como mediador en la construcción de modelos mentales de conceptos químicos - son electronegatividad, momento dipolar eléctrico y de polaridad de moléculas - por un estudiante con discapacidad visual (ECDV). Esa pesquisa es de naturaleza cualitativa y se sucedió por un estudio de caso. Para generar los datos se impartieron clases a un ECDV, los cuales fueron grabados en audio y video. Los resultados de la primera fase de la investigación revelan que el ECDV considera fundamental el uso de recursos táctiles para facilitar el aprendizaje. Durante la validación de los ODT, los resultados de la primera fase de la investigación revelan que el ECDV considera fundamental el uso de recursos táctiles para facilitar el aprendizaje y al acercar o alejar los imanes, experimentó táctilmente el nivel sensorial muscular, que permitió una integración dinámica y simultánea de información sobre una entidad a modelar, ayudar en la construcción de modelos mentales de los fenómenos estudiados.

Palabras clave: objeto dinámico-táctil. discapacidad visual. modelos mentales. polaridad de las moléculas.

1 INTRODUÇÃO

A inclusão não diz respeito a apenas matricular crianças nas escolas regulares, mas a mudar as escolas para torná-las mais responsivas às necessidades de todas as crianças. Educação Inclusiva tem como ideário o direito à igualdade de oportunidades, o que não significa um “modo igual” de educar a todos, mas educar a todos com equidade, ou seja, dar a cada um o que necessita, em função de suas características e necessidades individuais (Carvalho, 2010).



Os dados do censo escolar de 2023 divulgados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP, 2023) revelam que 91% dos estudantes público-alvo da Educação Especial (PAEE) encontravam-se matriculados na Educação Básica Regular (em classes comuns) contra 9% que estão em escolas especializadas.

Entretanto, esse alto índice de matrículas não reflete uma melhoria qualitativa da Educação Especial, mas apenas o aumento da integração desses estudantes em salas regulares assistidos por professores que muitas vezes não possuem, não utilizam ou desconhecem os recursos necessários para a efetivação de uma educação inclusiva, como foi revelado na pesquisa realizada por Silva (2020).

A garantia ao direito de educação emancipadora às pessoas com deficiência visual, por exemplo, tem sido um grande desafio, pois a realidade do sistema educacional brasileiro se caracteriza por recursos estruturais, materiais, didáticos e humanos escassos. Segundo Fernandes *et al.* (2017), considerando que a audição e o tato são fundamentais para o aprendizado e compreensão das pessoas cegas, é crucial desenvolver estratégias de ensino que valorizem esses sentidos como instrumentos essenciais na construção do conhecimento na perspectiva inclusiva.

Pensando nisso, discute uma nova modalidade de recursos táteis para acessibilidade dos estudantes cegos: os objetos dinâmico-táteis (ODTs). A saber:

Os objetos dinâmico-táteis são ferramentas que por aplicação de forças geram movimento e alterações da configuração inicial do sistema em análise. A natureza das forças aplicadas pode ser mecânica ou magnética, obtidas, por exemplo, pela tensão de borrachas ou de elásticos e de ímãs, respectivamente. Ao incrementarmos, positiva ou negativamente, a tensão em uma borracha ou em um elástico e ao aproximarmos ou afastarmos ímãs, estamos possibilitando que as pessoas com deficiência visual experimentem o nível sensorial muscular. Portanto, esse tipo de recurso se diferencia dos recursos estático-táteis, por possibilitar a exploração de movimentos e de mudanças sistêmicas, ampliando o campo da experiência tátil. Os objetos dinâmico-táteis podem facilitar a construção de modelos mentais de conceitos a partir da experiência dos movimentos e das alterações sistêmicas geradas (Silva *et al.*, 2023, p. 3).

Assim, nosso objetivo no presente artigo é apresentar os resultados da validação, por um estudante cego, de dois ODTs produzidos, enfatizando o processo de construção e reelaboração de modelos mentais a partir da experientiação dos materiais.



2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CONSTRUÇÃO DE MODELOS MENTAIS POR CEGOS E A MEDIAÇÃO EM UMA ABORDAGEM VYGOTSKYANA

Para falarmos sobre modelos mentais, inicialmente tomamos como base uma definição mais simples, compreendendo ser “um modelo que existe na mente de alguém, do indivíduo” (Borges, 1997, p. 208). Partindo desse entendimento, uma pessoa pode descrever, explicar, alterar e reorganizar um modelo mental de acordo com o contexto de aplicação, essas etapas são repetidas diversas vezes na mente do indivíduo, com o intuito de alcançar uma resposta, explicação ou conclusão, que em um primeiro instante atende as suas necessidades enquanto aprendiz.

É importante mencionar que modelos mentais são inacabados e evoluem à medida que o indivíduo adquire conhecimentos (Moreira, 1997) e os incorpora a sua estrutura mental. Esse processo está ligado à capacidade do indivíduo em prever e explicar determinado fenômeno à medida que o seu conhecimento evolui.

Nesta pesquisa, a temática dos modelos mentais é abordada com ênfase na visão de Johnson-Laird (1983), apresentando a natureza, o conteúdo e a tipologia desses modelos. Para ele, as representações mentais podem ser divididas em dois grandes tipos: as analógicas, do tipo imagem, e as proposicionais, do tipo linguagem (Vieira Junior e Colvara, 2010).

Para Johnson-Laird (1983), embora a representação analógica seja condição primordial para a construção de um modelo mental, eles (modelos e imagens) se diferenciam à medida que imagens representam aspectos particulares em relação a algo, enquanto um modelo mental tem como princípio ser uma representação mais ampla e genérica.

Ainda segundo o autor supramencionado, as proposições são representações de significados, totalmente abstraídas, que são verbalmente expressáveis, e as imagens são representações específicas que retêm muitos dos aspectos perceptivos de determinados objetos ou eventos, vistos de um ângulo particular, com detalhes de uma certa instância do objeto ou do evento (Johnson-Laird, 1983). Já os modelos mentais são representações analógicas, um tanto quanto abstraídas, de conceitos, de objetos ou de eventos que são espacial e temporalmente análogos a impressões sensoriais, mas que podem ser vistos de qualquer ângulo e que, em geral,



não retêm aspectos distintivos de uma dada instância de um objeto ou de um evento (Sternberg, 1996).

Johnson-Laird (1983) detalha que um modelo mental é composto por elementos denominados tokens que representam um estado de coisas específico, estruturados de uma maneira adequada e coerente com uma utilização prevista. Esses elementos correspondem a três conjuntos finitos distintos: o primeiro corresponde aos objetos do mundo real, o segundo as propriedades desses objetos e o terceiro as relações que esses elementos estabelecem com o mundo real. Por exemplo, no modelo mental de uma molécula: a própria molécula é um elemento, pois é um objeto do mundo real; os átomos, o tipo de ligação que eles estabelecem, a polaridade e a geometria da molécula são tokens, pois são propriedades do objeto molécula; e as relações entre os tipos de átomos, entre os tipos de ligações, entre a geometria molecular e a polaridade dessa molécula são tokens, visto que elas explicam o porquê de uma molécula se orientar ou não na presença de um campo elétrico externo (um estado de coisas identificado no mundo real).

O autor ainda discute que podem existir diversos modelos mentais que representam conceitos ou fenômenos de forma adequada. Todavia, estudantes diferentes de uma mesma sala de aula podem construir diferentes modelos mentais sobre um determinado conceito, sendo que parte deles representem esse conceito adequadamente, enquanto outros o representem inadequadamente (com erros, confusos ou incompletos) (Johnson-Laird, 1983).

De acordo com Moreira (1997), o modelo mental de um conceito deve ser capaz de representar tanto o essencial como a amplitude de um conceito. Borges (1997) relata que os modelos mentais são usados para caracterizar as formas pelas quais as pessoas compreendem os sistemas físicos com os quais interagem. Portanto, na compreensão de conceitos, os modelos mentais correspondem a reconstruções mentais sobre os conceitos ou fenômenos em estudo. Assim, entender um evento por meio de modelos mentais é saber como ele é causado, o que resulta dele, como provocá-lo, influenciá-lo, evitá-lo.

Os modelos mentais recuperados ou gerados durante o processo cognitivo, são elementos aos quais novas parcelas de informação são acrescentadas. Nesse sentido, Borges (1997) salienta que a habilidade de um indivíduo em explicar e em prever eventos e fenômenos que acontecem em torno de si evolui à medida que ele adquire modelos mentais mais sofisticados dos domínios envolvidos. Essa evolução se dá com o desenvolvimento psicológico e com a instrução, em um processo conhecido como mudança conceitual.



O processo de formação de modelos mentais de conceitos se dá através da inter-relação dos processos cognitivos, logo, ele é extremamente dependente da percepção. A pesquisa de Ormelezi (2000) sobre a aquisição de representações mentais por cegos adultos revelou que a formação de imagens e de conceitos ocorre por meio de experiências táteis, auditivas e olfativas, interrelacionadas com a linguagem das pessoas com as quais interagem.

É importante destacar que, nos casos de cegueira congênita, existe a ausência da memória visual, que pode ser compreendida como a elaboração mental de imagens a partir da percepção/recordação de dados visuais. Dessa forma, aprendizes que são cegos congênitos não possuem nenhuma referência visual direta de mundo real em sua memória, fato que não os impedem, segundo diversas pesquisas em neurociência, de elaborar modelos mentais (Viveiros e Camargo, 2010).

Concordamos com Damásio (2000) que a formação das imagens mentais não depende apenas da visão, mas de todas as atividades sensoriais provenientes dos estímulos que recebemos. Esse autor, ao definir imagens mentais como entidades que não são necessariamente visuais, traz clareza e até aceitação à ideia de que as pessoas cegas congênitas são capazes de formar imagens mentais.

Johnson-Laird (1983) enfatiza que os modelos mentais podem ser construídos a partir do discurso, por exemplo, a partir de uma descrição verbal de um vídeo de uma aula gravada. Portanto, a deficiência visual em si não corresponde a um fator limitante para construção de modelos mentais. Em pessoas com deficiência visual, mas sem disfuncionalidades cerebrais, o que limita a construção desses modelos é a falta de variedade, de quantidade e de qualidade dos estímulos a serem desenvolvidos cognitivamente.

Nesse sentido - e trazendo para nosso aporte teórico a visão de desenvolvimento cognitivo de Vygotsky -, ressaltamos que para Vygotsky, segundo Oliveira (2015), a relação dos indivíduos com o mundo não é uma relação direta, mas mediada e que pode ser feita através de instrumentos e de signos. A origem do processo da construção de conceitos e as suas características e funcionalidades são explicitados por Vygotsky ([1931] 2000, p. 66-67) da seguinte forma:

O conceito não é uma formação isolada, fossilizada e imutável, mas sim uma parte ativa do processo intelectual, constantemente a serviço da comunicação, do entendimento e da solução de problemas. Com base nessa afirmativa, devemos mencionar que o conceito se trata de um processo mental que tem suas origens na infância, nesse caso,



desde tenra idade a criança começa o seu processo de construção de conceitos.

A formação conceitual envolve processos de percepção, de significação e de internalização e se fundamenta na capacidade mediadora da fala (Silva, 2019). É importante destacar que, para Vygotsky, a fala e o pensamento são dois processos psíquicos distintos, singulares e separados, que, em um certo momento do desenvolvimento (ontogênese), unem-se, dando lugar à unidade pensamento e fala, que é o pensamento verbal (Prestes, 2010).

Sendo assim, a apropriação de conceitos demanda a manipulação ou a mobilização, de modo consciente e intencional, de instrumentos externos (utensílios, máquinas etc.) e instrumentos internos (signos) (Silva, 2019). Contudo, essa autora destaca que grande parte das ações dos indivíduos no mundo ocorrem a partir da interação com um outro indivíduo mais experiente (o que ela denominou mediação pelas experiências dos outros), o que demonstra a grande importância dos professores no processo de construção de conhecimento. Para ela, a função do professor permeia o ato de planejar, de certificar e de orientar os meios pelos quais os estudantes se relacionam com o conhecimento e podem construir conceitos.

Nesse sentido, os educadores proporcionam a facilitação do acesso ao conhecimento historicamente construído, enquanto núcleo central do processo aprendizagem-desenvolvimento do ser social, buscando meios para que todos possam se apropriar desse conhecimento.

Assim, emerge a importância do desenvolvimento de materiais táteis a serem empregados no processo de construção de novos signos, novos modelos mentais por aprendizes cegos. Estes materiais, quando bem direcionados e empregados pelo professor (facilitador), atuam na construção de modelos mentais mais elaborados sobre determinado conhecimento.

A utilização dos ODTs não se restringe aos estudantes com deficiência visual (ECDV), mas a todos os estudantes. Para Pedrosa e Guimarães (2016), saber vincular os conhecimentos químicos através de representações que não dependam estritamente da visão e saber realizar as atividades comuns aos estudantes com ou sem deficiência visual, estimula um ambiente colaborativo de aprendizagem. Essa colaboração entre os estudantes é uma das estratégias de um processo educativo inclusivo e gera um ambiente rico em significados, aumentando as oportunidades de interações saudáveis com a realidade.



3 METODOLOGIA

O presente artigo é um recorte da dissertação de mestrado do primeiro autor. Seguimos uma abordagem qualitativa, que segundo afirmam Freitas e Jabbour (2011) as evidências podem ser obtidas e trianguladas por meio de múltiplas fontes, como entrevistas, observações, análise de documentos, permitindo ao pesquisador detalhes informais e relevantes.

Utilizamos como procedimento metodológico o Estudo de Caso que, de acordo com Yin (2010), possibilita a investigação de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real. Nos debruçamos em um único caso de validação dos ODTs por um estudante com deficiência visual (ECDV). Para Yin (2010), justifica-se a escolha pelo Estudo de Caso único quando o caso pode ser o piloto de um Estudo de Caso múltiplo.

O ECDV teve conhecimento pleno da estrutura, dos instrumentos e da metodologia da investigação e assinou o termo de consentimento livre e esclarecido – a pesquisa foi aprovada pelo Comitê de ética da universidade a qual estava vinculada. Esse estudante participou de dois encontros para o desenvolvimento das atividades, sendo um virtual, e o outro presencial.

Os encontros foram gravados em áudio e em vídeo, e o conteúdo transcrito com base na transcrição naturalista, em que, de acordo com Olivier *et al.* (2005), cada enunciação é capturada com o máximo de detalhes, sem correções gramaticais, sem a remoção de acentos não padronizados e com a preservação de elementos peculiares do discurso, como as pausas, as vocalizações involuntárias e a linguagem não verbal.

Para avaliarmos o uso dos ODTs¹ como mediadores na construção de modelos mentais, foi solicitado que o ECDV explanasse verbalmente o que pensava, conforme respondia a uma série de questionamentos² sobre os fenômenos e sobre as relações de causa e de efeito envolvidos nos saberes químicos em questão. Tomamos como base essa ação porque entendemos que um aprendiz acessa mentalmente (e a todo momento) conhecimentos relevantes que permitem a construção (ou a reorganização) de um modelo mental ao formular as suas respostas à determinadas perguntas.

¹ Os dois ODTs que serão apresentados no artigo foram escolhidos pela necessidade que encontramos em discutir as limitações e imprevistos que ocorreram durante a validação, uma vez que acreditamos na importância de sublinhar estas intercorrências, para além das potencialidades dos materiais.

² Esses questionamentos serão apresentados em seus devidos momentos durante a discussão dos resultados.



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 O ESTUDANTE CEGO PARTICIPANTE DA PESQUISA

O primeiro encontro com o ECDV ocorreu de maneira virtual, no formato de uma conversa interativa, guiada por um roteiro de perguntas³ e gerou dados que possibilitaram a construção do perfil do estudante participante, que recebeu o codinome Drummond⁴.

Drummond tinha 18 anos, cursava o 3º ano do Ensino Médio e perdeu a visão entre os seis e oito anos de idade em decorrência da distrofia de nervo óptico. O seu processo de alfabetização em Braille se deu aos nove anos de idade. Aos dez anos aprendeu a utilizar o Soroban. Ele se declarou um leitor regular e trilingue.

Drummond disse gostar muito de química e, ao ser perguntado sobre o nível de interesse em estudar química, respondeu que, em uma escala de zero a dez, o seu interesse em estudar química era oito. Quanto à satisfação em estudar química, ele respondeu que seria oito-nove.

Ao estudar química, Drummond relatou que não tem grandes dificuldades para aprender os conceitos. Contudo, em outro momento mais avançado da entrevista, quando questionado sobre a efetividade dos recursos utilizados por professores no processo do ensino de conceitos químicos, ele não sustenta essa afirmação e deixa claro que as metodologias utilizadas são elementos que dificultam a aprendizagem:

Olha, em certo sentido, sim. Até um certo sentido, eu acho que eles ajudaram. Eu não vou negar que eles contribuíram sim, mas eles não foram capazes de abarcar tudo o que seria interessante. Eu fico pensando em uma pessoa que tem mais dificuldade. Porque não é meu caso. Eu tenho muita facilidade, mas e a pessoa que tem muita dificuldade, sabe? Não basta todas essas situações de impeditivos, de barreiras, que eu tenho que enfrentar, eu ainda tenho obrigação de ter uma capacidade abstração absurdamente mais alta do que a dos meus colegas.

O ECDV enfatiza que tem alguma dificuldade de aprender por falta de materiais adequados:

³ Mediante os objetivos deste artigo, a entrevista não será discutida em sua totalidade.

⁴ A escolha do codinome se deu como uma alegoria ao poema “Tinha uma pedra no meio do caminho”, de Carlos Drummond de Andrade, que descreve obstáculos enfrentados em um percurso e que ficam gravados na memória do poeta, situação análoga vivenciadas pelo estudante participante da pesquisa.



[...] a grande maioria dos deficientes tem dificuldades de aprendizado e não é porque eles têm dificuldade neurológica de aprendizado. E é isso que os meus professores custavam a entender, custam a entender, com relação a mim. Eu não tenho uma dificuldade de aprendizado. Eu tenho uma dificuldade material de aprendizado. É outra questão. Porque a maioria das pessoas tem dificuldade depois que a informação chega, como se processa aquilo. A minha questão é que a informação não chega. É uma questão sensorial, né?

Essa fala corrobora a ideia de Vygotsky ([1924] 1997) de que a cegueira é um estado normal e não patológico para o cego e de que o enriquecimento humano da pessoa com deficiência se dá em razão diretamente proporcional aos meios e às formas que a sociedade disponibilizava para elas no que tange à apropriação da cultura historicamente acumulada pela humanidade.

Quando questionado sobre a dificuldade de imaginar como os fenômenos ocorrem, em uma escala de zero a dez, ele respondeu nove. E, ainda, quando questionado sobre qual o conceito químico conseguiu aprender com mais facilidade, ele respondeu que foi a Lei de Lavoisier, visto que o raciocínio utilizado é bem objetivo:

[...] é porque é um conceito assim bem objetivo. Ele é bem fácil de ser aplicado... eu achei ele é tranquilo de pensar que ele... os átomos meramente se organizam em novas estruturas. Então, é da mesma forma blocos de brinquedo... quando eu aprendi isso, eu lembrei dos blocos de brinquedo que usava na minha infância.

Esse discurso indica uma possível facilidade de construir modelos mentais de processos químicos envolvendo entidades submicroscópicas a partir de representações ou recursos concretos.

Ele indicou que o seu nível de tristeza, em uma escala de zero a dez, quando precisa construir imagens mentais sobre conceitos químicos muito abstratos e não possui recursos concretos para auxiliá-lo, é oito e que o conteúdo que mais gerou esse sentimento foi o modelo atômico atual.

Ainda sobre essa falta de recursos, Drummond afirmou que, em uma escala de zero a dez, os graus de irritação e de angústia são nove e sete, respectivamente. Contudo, ele deixa claro que esses sentimentos não são incapacitantes, mas são resultado de uma injustiça pela falta de suporte material:



[...] uma injustiça que eu sinto. Porque está sendo exigido de mim, de alguma maneira, uma habilidade que não é exigida dos meus colegas. Se fosse assim, gente agora nós vamos apresentar um conceito que todos os alunos têm que agora fechar nos olhos e imaginar, aí seria uma coisa justa, mas não é assim, né? Meus colegas estão vendo as figuras, estão vendo o passo a passo. Existe todo um suporte para que eles aprendam e que não vai existir para mim, nesse sentido do suporte material.

Mesmo com esses sentimentos aflorados, o estudante afirmou se sentir curioso e motivado a estudar conteúdos químicos com alto grau de abstração. Ele ainda revelou que se sente confortável ao trabalhar com esse tipo de conceito, o que se demonstrou contraditório quando ele afirmou, em outro momento da entrevista, que:

Eu sinto dor física, pelo meu esforço mental para poder entender aquele conceito, em alguns momentos, né? Então, eu colocaria esse sentimento da dor, né? Tem muito, às vezes, o sentimento desafio, né? Eu tenho personalidade assim, quando uma coisa é difícil, eu me dedico mais para encontrar, pra poder sair, vencer aquela dificuldade. Eu não tenho o costume de desistir. Então, eu sinto aquela persistência, né? E, às vezes, quando depois de uma aula muito longa que teve muita abstração e tal eu costumo sentir cansaço, né?

Essa fala vai ao encontro do pensamento de Vygotsky ([1924] 1997) de que as limitações orgânicas podem levar à diminuição no desenvolvimento, mas as suas relações dialéticas com a vontade cultural de superá-las podem criar formas de desenvolvimento criativas, infinitamente diversas, às vezes profundamente raras, iguais ou semelhantes às que observamos comumente:

[...] sempre e em todas as circunstâncias o desenvolvimento agravado por uma deficiência constitui um processo de criação e recriação da personalidade da criança, sobre a base da reorganização de todas as funções de adaptação, da formação de novos processos sobrepostos, substitutivos, niveladores, que são gerados pela deficiência, e da abertura de caminhos colaterais para o desenvolvimento. Um mundo de formas e vias novas de desenvolvimento, ilimitadamente diversas, se abre ante a defectologia (p. 16-17).

Podemos perceber, a partir da externalização de sua fala, o quanto o processo de ensino de conteúdos químicos a um ECDV requer aportes sensoriais para facilitar a emergência de tokens no processo de elaboração de modelos mentais. O estudante cego chega a relatar cansaço físico extremo após uma aula longa e que requer demasiada concentração. Tal fadiga pode ser amenizada se os saberes em questão forem trabalhados juntamente com materiais táteis, além dos mesmos guiarem de forma palpável a construção de modelos mentais os quais o professor anseia desenvolver no aprendiz.



Assim, tais apontamentos feitos por meio da entrevista embasam ainda mais a importância do uso de objetos táteis (e mais, de objetos dinâmico-táteis) como ferramentas essenciais na elaboração de modelos mentais pelo ECDV. Por meio de suas palavras, podemos inferir que alguns conceitos químicos requerem alto grau de abstração, exigência essa que pode ser melhor atendida quando o material tátil permite certa dinamicidade de movimento. A seguir, retratamos alguns momentos da pesquisa que demonstram como essa particularidade dos ODTs podem contribuir nesse processo de aprendizagem de conceitos mais abstratos.

4.2 O PROCESSO DE ANÁLISE/VALIDAÇÃO DOS OBJETOS DINÂMICO-TÁTEIS

Foram desenvolvidos quatro planos de aulas, que correspondem a uma sequência didática. No presente artigo, discutiremos as aulas três e quatro. Essas aulas tinham como objetivo identificar os modelos mentais desenvolvidos pelo ECDV a partir da apresentação dos conceitos de interações atrativas e repulsivas, de ligações covalentes, de eletronegatividade, de momento de dipolo elétrico, de polaridade de ligações e de moléculas, associados à diminuição de energia livre e ao aumento da estabilidade do sistema.

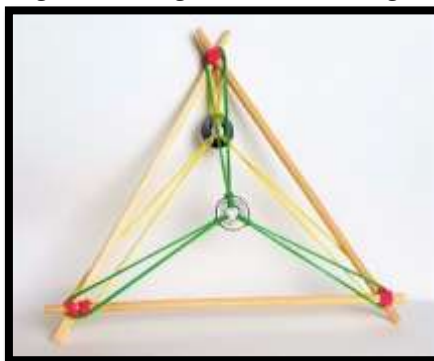
Drummond demonstrou, verbal e processualmente, ao responder aos questionamentos realizados pela equipe pesquisadora, a partir da manipulação dos ODTs, que já possuía modelos mentais da maioria dos conceitos químicos apresentados com alto grau de estruturação. Por esse motivo, as aulas fluíram rapidamente, e foi possível fazer a apresentação dos conceitos, o estabelecimento de correlações entre eles, a experimentação dos ODTs e a identificação do aperfeiçoamento do modelo mental previamente existente.

O primeiro ODT a ser descrito é o ODT triangular⁵ (Figura 1) que é uma estrutura triangular formada por hastes de madeira conectadas por suas extremidades, que são presas por elásticos. Nos vértices do triângulo formado, são conectados elásticos com tensões variáveis que prendem argolas, que representam os centros de cargas positivas (argola metálica) e negativas (argola plástica).

⁵ Os materiais necessários e forma de confecção de todos os ODTs apresentados no artigo, podem ser consultados no Produto Educacional disponível no link: <https://www.repositorio.ufop.br/items/75fbce25-9ea5-49d9-82a1-3fb2fb9083d7>.



Figura 1 - Fotografia do ODT triangular.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Este ODT tem por finalidade representar: os centros de cargas positivas e negativas em moléculas; o momento de dipolo elétrico; a força resultante da atração pelos pares de elétrons ligantes em uma molécula; polaridade de ligações e de moléculas; a configuração estável do sistema, estado de menor energia livre.

Ao entregar o ODT triangular ao ECDV, este o descreveu sem dificuldades:

Ele é um triângulo. É... a gente tem... é... a gente tem gominhas que partem dos vértices, né? E chegam no centro de metal, nessa esfera de metal... não nessa coroa de circunferência.

Aí aqui o... o... os cordões... ah tá... também aqui nós temos um outro disco, né? O de cima é de plástico e do de baixo é de metal, né?

Drummond apresentou certa dificuldade em identificar que os dois discos correspondiam a dois baricentros. Contudo, quando o professor lhe afirmou que os discos representavam os baricentros e lhe solicitou para explicar esse fato, associando essa situação com as situações experimentadas na exploração do objeto anterior, Drummond conseguiu fazer uma correlação correta e consistente:

Ah, tá. Porque na verdade é outro detalhe que você não tinha me contado é que muito provavelmente a as cargas que estão nesses vértices aqui, elas não têm a mesma, o mesmo valor, né? Então, se eventualmente tem uma carga aqui de menor valor nesta ponta, ela é... como é que fala? É possível que aqui esteja um ponto de equilíbrio. Né? Mas eu não sei se, necessariamente, seria um baricentro por isso.

Essa intervenção do professor reflete um exemplo típico de interação dialógica, de mediação pedagógica com um indivíduo mais experiente, em uma atividade conjunta defendida pela cultura, numa construção de significados, na perspectiva da Teoria Histórico Cultural, como



defendido por Piletti e Rossato (2015).

Todavia, em um determinado momento e por uma inabilidade do professor de descrever o sistema químico que o ODT representava (uma molécula de H_2BCl), o estudante apresentou certa dificuldade em transpor o raciocínio realizado anteriormente com cargas elétricas para um sistema molecular.

Ele não associou os vértices do triângulo aos núcleos dos átomos, o centro do triângulo ao átomo ligante central, os elásticos de borrachas às ligações covalentes e ainda associou equivocadamente as hastes de madeira que representavam os lados do triângulo com as ligações químicas.

Essa situação foi resolvida apenas após o professor apresentar o modelo molecular (Figura 2) que o ODT triangular estava representando e detalhar melhor cada elemento constituinte.

Figura 2 - Modelo Molecular da Molécula representada no ODT triangular.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nos apoiando em Maia *et al.* (2016), podemos compreender que a dificuldade do estudante residiu na maneira como os estímulos externos foram percebidos. E o professor, ao oferecer o modelo molecular da molécula representada no ODT triangular, estava assegurando simplificar a complexidade da tarefa em função dos elementos que excedem as capacidades iniciais do estudante e esclarecer os objetivos limitados visados e o itinerário a percorrer para atingi-los (Dolz e Schneuwly, 2004).

Com um cenário mais esclarecido, Drummond conseguiu entender que a argola de metal correspondia ao centro de carga positivas da molécula, a argola de plástico correspondia ao centro de cargas negativas e eles não coincidiam:



Ah, tá. Então, na verdade é porque as cargas negativas não estão localizadas nos mesmos pontos que as cargas positivas. É por isso que você falou que aqui também é o baricentro. Eu tenho que pensar que existe um outro triângulo aqui também envolvido, né? Os centros de cargas positivas e negativas não coincidem.

O professor o indagou se era possível considerar a existência de um vetor, quando as posições das argolas não coincidiam, e o estudante respondeu que sim. O professor ainda afirmou que esse vetor é orientado apontando da carga negativa para a carga positiva e pediu que o estudante pegasse uma seta que representava esse vetor e a colocasse no ODT triangular. Drummond a colocou e o nomeou corretamente: “[...] um vetor de interação eletromagnética, né? Mas na química a gente não chama assim, né? É... a gente chama é... de... é... como é que fala gente? Vetor dipolar, né? Porque tem dois polos, um negativo e o outro positivo”.

Quando solicitado a tentar fazer com que o centro de cargas negativas coincidissem com o centro de cargas positivas, ele puxa a argola plástica e a faz coincidir com a argola metálica e descreve sua percepção sensorial: “Eu percebo que o elástico tenta restringir isso. E, se eu soltar, ele volta para o estado inicial”.

Drummond acertadamente respondeu que, no exemplo em questão, se os centros de cargas coincidissem, o sistema seria instável e que a molécula representada é estável quando esses centros não coincidem.

Ele ainda foi questionado se sabia como era denominado o sistema de átomos cujos centros de cargas positivas e negativas não coincidem, e, como a pergunta foi muito ampla, a sua resposta só foi assertiva após uma sequência de perguntas e de respostas:

Drummond: É... Uai?. É... peraí... não coincide?

Professor: É.

Drummond: O nome do sistema de átomos?

Professor: Isso.

Drummond: Sistema de átomos? Ou sistema dentro do átomo?

Professor: Não. De átomos.

Drummond: Ah, tá. Ah, tá. É... uai? Pra mim, eu diria que é uma... a gente tá tendo o caso de uma ligação. É uma molécula... é...

Professor: Isso.

Drummond: Ou... se não for uma ligação covalente, pode é... um sal, né? Uma ligação iônica.

Professor: Isso daí é uma molécula, tá?

Drummond: Tá.

Professor: Se isso é uma molécula, que tinha um átomo no centro, átomos nos vértices, existe... ela é estável com as cargas positivas e negativas não coincidindo? A distribuição...

Drummond: Exato.

Professor: Estão em baricentros diferentes?



Drummond: Aham.

Professor: Essa molécula ela tem um vetor dipolo. Por que o nome dipolo?

Drummond: É... é... porque existem dois polos. Um negativo e o outro positivo, localizados nos baricentros respectivos.

Professor: Que não?

Drummond: Que não se coincidem.

Professor: Que não se coincidem. Então, essa molécula é uma molécula?

Drummond: É polar.

Esse trecho da aula reflete a necessidade de clareza e de especificidade nos questionamentos realizados pelos professores.

Em seguida, o professor o questiona se a distribuição de núcleos e de elétrons que estava sendo representada pelo ODT triangular era estável, e Drummond respondeu corretamente, demonstrando ter um modelo mental do processo que o permite prever os comportamentos do sistema:

Ela é estável... porque é... chega a um momento em que as cargas negativas, elas se equilibram com as positivas porque, se você aproximar mais, as forças repulsivas são maiores do que as atrativas. Então, existem esses dois momentos. No primeiro momento, há uma atração, se elas tiverem distantes, e depois há um equilíbrio porque a força repulsiva se iguala à força atrativa. E, se você tentar aproximar mais, a repulsiva fica maior do que atrativa.

Ao ser alertado que no ODT triangular um dos elásticos era menor do que os demais, o ECDV foi questionado sobre qual era o motivo dessa diferença, e a sua resposta foi: “[...] porque esse núcleo exerce uma força maior”.

Solicitado a conferir se as tensões nos elásticos são iguais, inicialmente Drummond respondeu: “É, não, necessariamente, não são. Não. Peraí, calma são sim... ah tá, necessariamente são, porque, se não fossem, não estaria mais em estabilidade”.

Essa resposta foi dada muito rapidamente, sem uma exploração mais detalhada do ODT triangular, o que pode significar um conflito entre dois tipos de representações mentais: representações proposicionais preexistentes e um modelo mental que está se constituindo.

Após atender à solicitação de explorar novamente o ODT triangular e após orientações mais específicas, o estudante verificou que as tensões nos elásticos conectados à argola metálica (que correspondia ao centro de carga positiva) eram iguais; verificou que as tensões nos elásticos maiores conectados à argola plástica (que correspondia ao centro de carga negativa) eram iguais e a tensão no elástico menor era maior; respondeu de forma assertiva que o ODT triangular representava um sistema cujos núcleos atraíam os elétrons de forma desigual e o que o núcleo



que se encontrava no vértice que estava conectado ao menor elástico atraía mais fortemente o centro de carga negativa.

Solicitado a explicar o porquê da última observação, o estudante afirmou: “Porque ele tem mais próton do que o outro”. E, indagado se seria apenas isso, a sua resposta foi: “Não. Eu dei uma resposta muito boba, né? É porque ele tem maior eletronegatividade. Então, ele é mais eletronegativo”.

Drummond apresentava um conceito incompleto de eletronegatividade: “Eletronegatividade é a tendência que o átomo tem de atrair elétrons para si”. O professor fez uma correção conceitual: “Eletronegatividade é a tendência que um átomo tem de atrair para si os elétrons compartilhados em uma ligação covalente”. Essa informação gerou um desconforto cognitivo que pode ser percebido no seguinte trecho de interação entre o estudante e o professor:

Drummond: Mas aí no caso você está falando ligação covalente... um elétron... um átomo metálico, então, ele não tem eletronegatividade, né?

Professor: Não, ele tem, mas a eletronegatividade dele só existe quando ele faz ligação covalente.

Drummond: Mas um átomo metálico faz ligação covalente?

Drummond: Ô professor, você está acabando com todos os conceitos de química que eu já aprendi na minha vida, tá? Porque isso pra mim é um sacrilégio falar que átomo metálico faz ligação covalente.

Professor: Você já ouviu falar em óxido de alumínio?

Drummond: Óxido de alumínio? Oh, não.

Professor: Óxido de alumínio...

Drummond: Ô professor, eu tenho quase certeza que a fórmula dele é AlO_3 , né?

Professor: Al_2O_3 .

Drummond: Al_2O_3 . É.

Professor: Esse composto é um composto cujos alumínio se ligam ao oxigênio através de ligações covalentes.

Drummond: Tá isso...

Professor: Já ouviu falar de permanganato de potássio, KMnO_4 ?

Drummond: Esse aí eu já ouvi falar, porque eu sei que ele é reagente de algumas reações orgânicas que eu aprendi. Salvo engano, eu vou pagar vacilo na gravação, eu acho que é ozonólise, não é? Ou não?

Professor: É na oxidação enérgica.

Drummond: Isso.

Professor: Nesses compostos os metais alumínio e manganês estão ligados covalentemente a átomos de oxigênio.

(Nesse momento, Drummond expressou corporalmente, através de gestos e de expressões faciais, que estava surpreso, mas que aceitava a nova informação).

Como última atividade da aula, o ECDV analisou que o ODT triangular o ajudou a entender a origem do vetor momento de dipolo elétrico em uma molécula, mas aconselhou realizarmos algumas melhorias:



Drummond: É, eu... aconselho, por exemplo, às vezes, ao invés de usar gominhas duplas, usar uma única gominha mais grossa, talvez. Assim deixaria claro para a pessoa que você está falando de uma única ligação e não de duas. Entendeu?

Drummond: Eu acredito, eu é... outra sugestão é que... como é que eu falo? Às vezes colocar uma bolinha em cada uma das pontas e uma bolinha aqui no meio para enfatizar que são quatro núcleos atômicos diferentes, né? Porque, na verdade, o átomo não é só essa pontinha, né? Depois você me explicou, né? Que o átomo também tem as cargas... como é que fala? Carga elétricas ali do lado de fora, né? E também seja interessante talvez depois, é você colocar aqui o... uma... alguma estruturinha nessa... aí eu não vou saber, não vou ter a competência técnica de falar qual, mas é uma estruturinha que, ao longo desse palito, para representar os elétrons que estão sendo compartilhados, É pra não ficar só no imaginativo, sabe?

Além disso, ele também validou a escolha dos tipos de materiais que integram o ODT triangular:

Drummond: eu gostei muito da escolha de materiais que você usou, até porque é... é igual eu te falei, é um material fácil de você usar, manusear, eu manuseei com tranquilidade, sem medo de quebrar, né? É, dá para perceber claramente a diferença de material entre os dois [...] então, assim é importante permanecer, plástico em cima e metal em baixo, né? Porque a questão da sensação térmica ajuda a diferenciar pro outro, né?

Atendemos a todas as sugestões de Drummond, e o ODT triangular reformulado encontra-se representado na Figura 3. Os pares eletrônicos compartilhados foram representados por duas seções de canudos (dois cilindros de papelão) que podem deslizar pelos elásticos (amarelos), e os elásticos (na cor verde) utilizados para a estruturação da representação do centro de carga positiva foram enrolados, o que facilitou as suas identificações táteis.

Figura 3 - ODT triangular reformulado após as observações do ECDV.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na aula seguinte, o ECDV experienciou o ODT linear (figura 4), que é composto de uma base de madeira, com ímãs presos a fios de náilon, que estão presos a manoplas que permitem,



através de seus giros, que o comprimento dos fios e, portanto, a distância entre os ímãs seja alterada.

O ODT linear tem por finalidade representar: interações atrativas; forças atrativas; a dependência entre intensidade da interação atrativa e distância entre os átomos ligantes; o momento de dipolo elétrico; o processo de ionização; a polaridade de ligação e de moléculas; a configuração estável do sistema, estado de menor energia livre.

Figura 4 - Fotografia do ODT linear.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O professor solicitou que o ECDV explorasse o ODT linear tatilmente, de forma suave, e o descrevesse. Drummond demonstrou uma grande satisfação com o primeiro contato com ODT linear: “A que legal. Eu tô sentindo que eles estão se atraindo aqui, oh.”

Possivelmente, pela satisfação demonstrada em manipular tal objeto, o estudante continuou a explorá-lo e puxou os fios de náilon um pouco além do ideal, e os ímãs, que interagiam atrativamente a distância, acabaram se tocando. Na tentativa espontânea e instantânea de separá-los, Drummond acabou tracionando, puxando em sentidos contrários, o bloco de ímãs formado ao invés de deslizar paralelamente os discos desse bloco que se desejava separar. Esse procedimento fez com que um dos ganchos que estava colado aos ímãs se desprendesse.

Após o reparo, Drummond explorou novamente o ODT linear e sentiu a interação atrativa a partir da tensão dos fios de náilon e do espaçamento entre os ímãs: “Eu tô sentindo que eles estão tentando se aproximar”.

Ao ser questionado, se um dos ímãs fosse um átomo, sobre qual seria o mais eletronegativo, o estudante respondeu corretamente que era o conjunto formado pelo maior empilhamento de ímãs. Então, o professor solicitou que o estudante colocasse uma argola metálica perpendicular à base de um dos ímãs, mas o estudante ficou com receio de colocá-la no



ímã menor e a colocou no ímã maior. A argola metálica representava a um par eletrônico compartilhado por átomos ligantes.

O estudante foi solicitado a girar suavemente uma das manoplas nos dois sentidos. Ele descreveu que, em um sentido, os ímãs estavam se afastando e, no outro sentido, estavam se aproximando até que a argola tocou perpendicularmente à base do segundo ímã.

Drummond recebeu o comando de girar uma das manoplas com o objetivo de os ímãs se afastarem. Durante a execução do comando, o gancho reparado soltou novamente, e a avaliação do ODT linear foi abortada.

Todavia, o estudante descreveu que entendeu o fenômeno que esse objeto tinha por finalidade representar: “Eu entendi a ideia. A argolinha estava simbolizando elétron, e aqui cada um dos ímãs eles representam... como fala? É núcleos atômicos de átomos diferentes que vão tentar disputar essa argolinha”.

O professor tentou representar improvisadamente a descrição do fenômeno, construindo um novo sistema (figura 5):

Figura 5 - ODT alternativo ao ODT linear.



Fonte: Elaborado pelos autores

Quando questionado sobre o que ocorreria caso tentasse afastar os blocos de ímãs, Drummond respondeu que o ímã esférico ficaria com o ímã maior (pilha de ímãs). Ele tentou afastar os blocos de ímãs, e o resultado era o mesmo, a esfera sempre ficava com o bloco com o maior número de ímãs: “é, não importa o que eu faça, vai ficar com o maior”. Essa é uma limitação do ODT alternativo e do ODT linear, ou seja, não existe a possibilidade de representação do fenômeno da ruptura da ligação gerar radicais livres e da transformação do átomo menos eletronegativo em ânion (fenômeno questionado pelo estudante dezenove minutos após a manipulação do ODT alternativo), fenômenos de baixa probabilidade de ocorrência.

Ao ser interrogado sobre qual seria o nome do fenômeno que o ODT linear tentava representar e após um diálogo indutivo, Drummond identificou o processo como uma ionização.



O professor questionou o estudante sobre a eficácia do ODT linear, caso não tivesse quebrado, como mediador para representar um fenômeno em que átomos com eletronegatividades diferentes compartilham desigualmente um par de elétrons ligantes. A fala de Drummond trouxe uma visão reveladora que contribuiu significativamente, assim:

Drummond: Melindroso, quer dizer assim: ele é um pouco mais complicado, delicado. Por que igual, por exemplo, mesmo que ele tivesse funcionado, vamos supor agora ela tem que estar em uma posição muito específica e nem sempre quando encaixar ela vai ficar facilmente nessa posição, né? E, quando eu estava manuseando, eu senti um pouco de receio de dar um pequeno beliscãozinho no meu dedo, né?

Professor: Entendi.

Drummond: Por causa da força dos ímãs, né? Então, o ímã maior poderia ser um ímã um pouco menor. Os ímãs não precisam ser tão grandes porque acaba que gera uma força muito intensa que ajuda a identificar mais rapidamente, por um lado é a força, mas, por outro lado, gera esse pouco de receio na hora de você utilizar. Então, essa é a minha sugestão.

Professor: E a solução que nós encontramos de colocar um ímã esférico com um único ímã de um lado e vários ímãs do outro lado, deu para ter uma ideia do que eu queria representar nesse instrumento aí?

Drummond: Não, deu para ter uma ideia tranquila. No outro eu também tive uma ideia também. Eu entendi bem o que você está tentando medir, o que tem que ser, talvez, aprimorado é só essa questão da usabilidade mesmo no dia a dia. Vamos supor na sala de aula, imagina que isso aqui arrebeta na hora que o professor está ensinando e tal... dá transtorno. Pra gente que é deficiente, o material tem que ser... não pode ser muito delicado e ter esse risco de acabar apertando o dedo... mais ou menos como uma criancinha aprendendo e pode gerar esse tipo de impacto. Mas é mais nesse sentido.

Ao final da aula, enquanto o professor preparava os ODTs para que o estudante os experimentasse novamente e fizesse comentários acerca de suas eficácias para a construção dos modelos mentais de eletronegatividade, de momento de dipolo elétrico e de polaridade, Drummond, começou um diálogo que nos permitiu inferir que essa manipulação gerou um desconforto cognitivo. Essa manipulação gerou um conjunto de associações inquietantes que foram elucidadas a partir da condução do professor, permitindo que o estudante adicionasse novos elementos (tokens) (Johnson-Laird, 1983), refinando o modelo mental existente:

Drummond: Então, eu tava pensando naquela questão que você me expôs, sobre o átomo de maior raio atômico: quer dizer que, se eu tiver, quer dizer... é... é... átomos metálicos ligados em átomos ametais, geralmente, o ametal vira um ânion, na... na... ionização?

Professor: Exatamente.

Drummond: Eventualmente, o metal também pode virar um ânion?

Professor: Pode.

Drummond: Excepcionalmente.



Professor: Só que aí o que vai acontecer... quando eles... você acha ele vai ficar estável ou instável?

Drummond: Instável.

Professor: E aí, quando ele encontrar o ametal que está na forma de cátion, o que você acha que vai acontecer?

Drummond: Vai haver a formação de...ele vai... uma... uma... como é que eu falo? A formação de uma ligação iônica, não? Eles perderiam elétron pra esse ametal?

Professor: Ó, pra gente falar que tem uma ligação iônica, não podem ser só dois átomos. Tem que ser um conjunto de cátions e ânions...

Drummond: Ah, tá, desculpa. Então, vai formar uma molécula...

Professor: Vai formar uma molécula?

Drummond: Vai formar um compartilhamento de elétrons.

Professor: Que posteriormente?

Drummond: Pode se quebrar. Pode se ionizar.

Professor: E aí a probabilidade vai ser que o metal seja?

Drummond: É... é... vire cátion.

Para finalizar a aula, o professor definiu para o estudante o que são modelos mentais e o convidou a descrever o que ocorreu com os seus modelos mentais dos conceitos estudados após a sequência de aulas e Drummond disse que eles tinham se aperfeiçoado:

Drummond: Eu acho que ele ficou mais aperfeiçoado, né? Porque é... como é que a gente fala? Às vezes a gente tem é... eu tinha um modelo muito baseado naquele modelo pau e bola. E pensando no modelo muito baseado naquilo que eu aprendi, né? Que a gente costuma aprender. Agora com esses modelos, eu acho que eu estou tendo uma percepção ampliada, né? De como funcionaria esse processo, né? É... uma percepção mais aprofundada e mais global desse processo, né?

Professor: Você acha que esses elásticos e esses ímãs te deram uma percepção diferente do que se eu tivesse colocado algo que fosse apenas estático para que você apenas tateasse?

Drummond: Nossa. Muito diferente. Porque, quando você produz um material que é mais dinâmico, né? Acaba que... é... eu posso efetivamente simular o processo das partículas microscópicas, simular que eu posso sentir objetivamente o processo, o fenômeno que está acontecendo. Quando o modelo é estático, eu fico impossibilitado de sentir o fenômeno. Eu tenho a percepção do... às vezes, por exemplo, o modelo inicial de como estava antes, de como ele está depois, mas todo o processo que leva de um ao outro ele tem que ser imaginativo, né? Então, isso dificulta um pouco o processo.

Os dados gerados a partir da fala de Drummond demonstraram a eficácia dos ODTs como instrumentos mediadores da representação mental do arranjo espacial dos sistemas para a construção de um modelo mental que permite fazer inferências e não apenas construir um conjunto de proposições descritivas. No entanto, alguns ODTs demonstraram certas limitações em termos de uso e funcionalidade.

O ODT triangular apresentou limitações representacionais do sistema modelado. Os elásticos que enlaçam a argola que simulam o centro de carga negativa não correspondem



fielmente ao comprimento das ligações. Essa limitação pode levar o usuário à incorreta associação de que a ligação mais polar é sempre de menor comprimento, visto que o elástico que a representa foi dobrado para produzir maior tensão. Esse objeto também não concebe fielmente as posições das ligações quando as associamos aos elásticos que enlaçam a argola que representa o centro de carga negativa, pois eles estão deslocados em relação ao átomo central.

Ademais, o ODT triangular não representa corretamente as ligações π (π) de sistemas moleculares insaturados. As ligações duplas e triplas seriam representadas por dois e por três elásticos colocados juntos, respectivamente. Dessa forma, a distribuição espacial e o comprimento das ligações seriam representados de forma incorreta, pois não demonstra o overlap dos orbitais p paralelos que geram as ligações π (π) e não diferenciam os comprimentos das ligações simples, duplas e triplas, respectivamente.

O ODT linear demonstrou-se frágil e, portanto, precisa passar por reformulações. Ele apresentou duas importantes limitações representacionais do sistema modelado. A primeira é a não representação de uma cisão homolítica, visto que o par eletrônico compartilhado é simulado por uma argola e, quando há a ruptura da ligação química, a argola fica sempre com um dos átomos, não sendo possível a formação de radicais livres. A segunda é que, quando ocorre ruptura da ligação química, o par eletrônico sempre ficará com o átomo mais eletronegativo (representado pela maior pilha de ímãs), o que é mais provável, mas elimina a possibilidade de aleatoriamente o átomo menos eletronegativo se transformar em um ânion.

Todos os ODTs produzidos para serem instrumentos mediadores na construção dos modelos mentais dos conceitos químicos objetos dessa pesquisa trarão resultados mais significativos quando associados aos modelos de pau e bola. Portanto, eles não representam, como ocorre com o próprio modelo de pau e bola e com outros modelos, os fenômenos eletrônicos sob a óptica do modelo atômico atual, ou seja, eles não representam os orbitais atômicos e moleculares e a densidade de probabilidade. Todavia, apontamos que é possível construir ODTs que representem tais conceitos e os seus princípios com ímãs, com balões plásticos, com limalha de ferro, com acetato de polivinila e com bórax, o que pode ser uma futura fonte de pesquisa.



5 CONCLUSÃO

No artigo, focamos na discussão da validação de um novo recurso para aulas de química: o objeto dinâmico-tátil, destacando não apenas suas potencialidades, mas também limitações e imprevistos que exigiram decisões adaptativas, divergindo do planejamento inicial.

A entrevista permitiu explorar a identidade do participante cego, revelando suas experiências estudiantis, memórias sobre o aprendizado de química, interações com professores e colegas, além de suas sugestões sobre o que considera essencial para apoiar sua construção de conhecimento na área.

Após a validação e análise das gravações, foi possível inferir que os ODTs são instrumentos eficazes como mediadores na construção de modelos mentais de conceitos químicos abstratos tais como eletronegatividade, o momento de dipolo elétrico e de polaridade de moléculas no processo de aprendizagem do estudante com deficiência visual.

Foi possível perceber a partir da externalização de sua fala o quanto o processo de ensino de conteúdos químicos a um ECDV requer aportes sensoriais para facilitar a emersão de tokens no processo de elaboração de modelos mentais. Mesmo que o estudante já possuísse determinados modelos mentais prévios, a partir do desenvolvimento das aulas com os ODTs foi possível (re)construir novos tokens, ocasionando assim um aperfeiçoamento mais amplo acerca dos conceitos abstratos estudados.

Ademais, cabe enfatizar a importância da interação dialógica entre professor e estudante. O papel do professor, ao conduzir o diálogo e instruir cuidadosamente o estudante cego na leitura tátil correta dos ODTs, foi essencial na pesquisa. Essa interação permitiu ao estudante compreender a organização dos elementos no espaço e identificar seu nível de desenvolvimento real, bem como o que só poderia ser alcançado com o direcionamento do professor. Nessa perspectiva vygotskyana, o professor atuou como organizador e regulador do ambiente educacional.

A partir das falas de Drummond, foi possível demonstrar a eficácia dos ODTs como instrumentos táteis mediadores de representações mentais do arranjo espacial dos sistemas estudados, fornecendo subsídios para a construção de um modelo mental que permitia fazer inferências e não apenas levantar um conjunto de proposições descritivas. Portanto, os ODTs



demonstraram ser funcionais, pois explicaram ou predisseram importantes aspectos do sistema físico representado e foram facilmente utilizados.

Por fim, se mostra de suma importância apontarmos que a utilização dos ODTs não deve se restringir apenas para o processo de ensino e de aprendizagem de conceitos para cegos, pois eles oferecem análogos estruturais de diversos estados de coisas, facilitando a construção e a correlação de conceitos que também são valiosos para os estudantes videntes



REFERÊNCIAS

- BORGES, A. T. Um estudo de modelos mentais, **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, p. 193-232, 1997.
- CAMARGO, E. P. **Saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de Física**. São Paulo: Ed. Unesp, 2012.
- CARVALHO, R. E. **Educação inclusiva: com os pingos nos “is”**. 7. Porto Alegre: Mediação, 2010.
- CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique**. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1991.
- DAMÁSIO, Antonio. **O mistério da consciência: do corpo e das emoções ao conhecimento de si**. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.
- DOLZ, J.; SCHNEUWLY, B. Gêneros e progressão em expressão oral e escrita: elementos para reflexões sobre uma experiência suíça (francófona). In: SCHNEUWLY, B.; DOLZ, J. e colaboradores. **Gêneros orais e escritos na escola**. Tradução e organização Roxane Rojo e Gláís Sales Cordeiro. Campinas: Mercado das Letras, 2004. p. 41-70.
- EYSENCK, M. W.; KEANE, M. T. **Psicologia cognitiva: um manual introdutório**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.
- FERNANDES, J. M.; FRANCO-PATROCÍNIO, S. O.; ZAMBELLI, M. H.; FREITAS-REIS, I. A elaboração de materiais para o ensino de modelos atômicos e distribuição eletrônica para discente cego: produtos de um projeto PROBIC-JR, **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 6, p. 95-108, 2017.
- FREITAS, W. R. S.; JABBOUR, C. J. C. Utilizando Estudo de Caso(s) como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões, **Revista Estudo & Debate**, v. 18, n. 2, p. 07-22, 2011.
- GARCEZ, P. M.; BULLA, G. S.; LODER, L. L. Práticas de pesquisa microetnográfica: geração, segmentação e transcrição de dados audiovisuais como procedimentos analíticos plenos, **Delta: Documentação de Estudos em Linguística Teórica e Aplicada**, v. 30, n. 2, p. 257-288, 2014.
- INEP. Censo Escolar 2023. Ministério da Educação, 2023. Disponível em: https://download.inep.gov.br/censo_escolar/resultados/2023/apresentacao_coletiva.pdf.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models: towards a cognitive Science of language, inference, and consciousness**. Cambridge: Harvard University Press, 1983.
- MAIA, R. N. P.; CAETANO, R. R. dos S.; MARINHO, F. Aspectos da teoria de Vigotski no processo de medição de grandezas físicas na universidade, **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 822-838, 2016.



MOREIRA, M. A. Modelos mentais, **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, p. 193-232, 1997.

MOREIRA, M. A. **Teorias da aprendizagem**. São Paulo: Editora EPU, 1999.

MOREIRA, M. A.; PINTO, A. de O. Dificuldade dos alunos na aprendizagem da lei de Ampère, à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 317-325, 2003.

NASCIMENTO, E. L. A dupla semiotização dos objetos de ensino-aprendizagem: dos gestos didáticos fundadores aos gestos didáticos específicos, **Signum**, v. 14, n. 1, p. 421-445, 2011.

NEVES, D. A. Ciência da informação e cognição humana: uma abordagem do processamento da informação, **Brasília**, v. 35, n. 1, p. 39-44, 2006.

OLIVEIRA, M. K. de. Coleção Grande Educadores Lev Vygotsky. (44m39s). Atta Mídia e Educação. Direção: Regis Horta, 2015.

OLIVER, D. G.; SEROVICH, J. M.; MASON, T. L. Constraints and opportunities with interview transcription: Towards reflection in qualitative research, **Social Forces**, v. 84, n. 2, p. 1273-1289, 2005.

ORMELEZI, E. M. **Os caminhos da aquisição do conhecimento e a cegueira**: do universo do corpo ao universo simbólico. Dissertação (Mestrado em Psicologia e Educação) – Faculdade de Educação da USP, São Paulo, p. 273, 2000.

PILETTI, N.; ROSSATO, S. M. **Psicologia da aprendizagem**: da teoria do condicionamento ao construtivismo. São Paulo: Contexto, 2015.

PRESTES, Z. R. **Quando não é quase a mesma coisa**: análise de traduções de Lev Semionovitch Vigotski no Brasil, repercussões no campo educacional. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de Brasília, Brasília, p. 295, 2010.

SILVA, F. G. D. **O que os olhos não veem a linguagem esclarece**: Contribuição da mediação semiótica à elaboração do raciocínio geográfico pelo aluno com cegueira congênita. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais da UFG, Goiânia, p. 336, 2019,

SILVA, M. A. P. da. **O Cenário do Ensino Remoto Para Alunos com Deficiência Visual Durante a Pandemia de Covid-19**. Monografia de Conclusão de Curso (MBA em Gestão Escolar) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2020.

SILVA, M. A. P. da.; FRANCO-PATROCÍNIO, S. O.; FERNANDES, J. M. O uso de materiais dinâmico-táteis na elaboração conceitual por um estudante cego: trabalhando o efeito de forças e a estabilidade energética de sistemas intramoleculares, **Experiências em Ensino de Ciências**, v.18, n.1, p. 1 – 25, 2023.



STERNBERG, R. J. **Cognitive psychology**. Forth Worth, TX: Harcourt Brace College Publishers, 1996.

VIEIRA JUNIOR, N.; COLVARA, L. D. Os modelos mentais de alunos em relação a vetores em duas e três dimensões: uma análise da dinâmica da aprendizagem e da inadequação das avaliações tradicionais, **Ciência e Cognição**, v. 15, n. 2, p. 55-69, 2010.

VIVEIROS, E. R. de; CAMARGO, E. P. Deficiência visual na perspectiva da Neurociência Cognitiva: delineamento de uma aplicação didática para o ensino de física. In: **ANAIS DA X JORNADA DE EDUCAÇÃO ESPECIAL: Educação Especial e o uso das tecnologias da informação e comunicações em práticas pedagógicas inclusivas**. Marília: Oficina Universitária, 2010.

VIGOTSKI, L. S. Fundamentos de defectologia. In: **Obras completas**. Tomo V. Havana: Editorial Pueblo y Educación, 1997.

VIGOTSKI, L. S. Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores. In: **Obras Escogidas**. Tomo III. 2. ed. Madrid: Visor, 2000.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento em Métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2010.