

ARTIGO

A CORPORIFICAÇÃO DE ENTES QUÍMICOS EM PERFORMANCES MULTIMODAIS EM AULAS DE CIÊNCIAS¹

ALEXANDRE AIZAWA¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4042-429X>
<alexandre.aizawa@gmail.com>

MARIA LUIZA SILVA TUPY BOTELHO²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1156-5536>
<marialuiza.botelho@gmail.com>

ANA LUIZA DE QUADROS³

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9175-7604>
<aquadros@qui.ufmg.br>

MARCELO GIORDAN⁴

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4646-0139>
<giordan@usp.br>

¹ Escola Estadual Professora Zenaide Lopes de Oliveira Godoy. São Paulo, SP, Brasil.

² Casa Fundamental. Belo Horizonte, MG, Brasil.

³ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁴ Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP, Brasil.

RESUMO: Partimos da premissa de que a representação e o conceito estão diretamente relacionados quando se trata de ensino e aprendizagem de Química. Neste artigo analisamos dois episódios de ensino nos quais foram executadas performances corporais com o objetivo de investigar os significados produzidos nas aulas em que o corpo foi empregado para representar um ente químico. Esses episódios foram extraídos dos vídeos produzidos por dois grupos de pesquisa em ensino de Química. Foram evidenciados nas análises os recursos modais empregados pelos professores durante a representação com o corpo e os possíveis significados produzidos junto aos estudantes. A análise indicou que os estudantes perceberam o comportamento do ente químico nos sujeitos que representavam os átomos e que essa corporificação apresentou *affordances* que auxiliaram no entendimento dos conceitos explorados durante a performance. Os dados nos levam a argumentar que o corpo e os movimentos também produzem aprendizagens. Representar um ente químico usando o corpo se mostrou uma estratégia racional e afetiva no entendimento dos conceitos, o que traz implicações para a formação de professores no sentido de superar obstáculos epistemológicos e afetivos.

Palavras-chave: Representação estrutural química, Performance corporal, Multimodalidade, Transições modais.

¹ Artigo publicado com financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq/Brasil para os serviços de edição, diagramação e conversão de XML.

THE EMBODIMENT OF CHEMICAL ENTITIES IN MULTIMODAL PERFORMANCES IN SCIENCE CLASSES

ABSTRACT: We started from the premise that the representation and the concept are directly related regarding the teaching and learning of Chemistry. In this article we analyze two episodes of teaching in which corporal performances were executed aiming to investigate the meanings produced in the classes where the body was used to represent a Chemical entity. These episodes were extracted from videos produced by two research groups in Chemistry teaching. The analyses evidenced the modal resources used by the teachers in the representation with the body and the possible meanings produced with the students. The analyses indicated that the students noticed the behavior of the chemical entity in the subjects that represented the atoms and that this embodiment presented affordances that helped the understanding of the concepts explored in the performance. The data lead us to argue that the body and the movements also produce learnings. Representing a chemical entity using the body showed to be a rational and affective strategy in the understanding of concepts, which brings implications to the training of teachers, in the sense of overcoming epistemological and affective obstacles.

Keywords: chemical structural representation, corporal performance, multimodality, modal transitions.

CORPORIFICACIÓN DE ENTIDADES QUÍMICAS EN PERFORMANCES MULTIMODALES EN LAS CLASES DE CIENCIAS

RESUMEN: Se parte de la premisa de que la representación y el concepto están directamente relacionados a la enseñanza y aprendizaje de Química. En este artículo se analizan dos episodios didácticos en los que se realizaron performances corporales, con el objetivo de investigar los significados producidos en las clases en que se utilizó el cuerpo para representar una entidad química. Estos episodios provinieron de vídeos que fueron producidos por dos grupos de investigación en enseñanza de Química. El análisis evidenció los recursos modales utilizados por los profesores durante la representación con el cuerpo y los posibles significados que generaron a los alumnos. El análisis apuntó que los estudiantes percibieron el comportamiento de la entidad química en los sujetos que representaban los átomos y que esta corporificación presentó recursos que les ayudaron a comprender los conceptos planteados durante la performance. Los datos nos permiten concluir que el cuerpo y los movimientos también producen aprendizaje. La representación de una entidad química utilizando el cuerpo demostró ser una estrategia racional y afectiva para comprender los conceptos, lo que impacta en la formación del profesorado a superar obstáculos epistemológicos y afectivos.

Palabras clave: representación estructural química, performance corporal, multimodalidad, transiciones modales.

INTRODUÇÃO

Embora nas últimas décadas tenha havido esforços metodológicos no sentido de tornar as aulas de Química mais dinâmicas, elas ainda se mostram tuteladas por princípios tradicionalistas. Nossa experiência tem mostrado que nas salas de aula de Ciências é comum os estudantes se sentarem, observarem, escutarem e escreverem, sem que deles seja exigida uma participação mais ativa.

Nas aulas de Química o conhecimento presente é por natureza carregado de representações. Para explicar os fenômenos da natureza surgem as “entidades” submicroscópicas, tais como átomos, moléculas, íons, elétrons (Mortimer, Machado & Romanelli, 2000), o que torna esse componente curricular fortemente abstrato. Essas entidades não são percebidas pelos sentidos e, portanto, são

representadas, o que cria dificuldade no entendimento dos estudantes. As entidades submicroscópicas não são facilmente relacionadas às propriedades das substâncias e nem mesmo ao que as leva a se transformarem. Com isso, argumentamos que ensinar Química continua sendo um grande desafio para professoras e professores. Lemke (1998) já alertava que os conceitos e modelos da Ciência, como amálgamas de complexos sistemas de signos e práticas semióticas, precisam ser imaginativamente, e acrescentamos criativamente, integrados pelos estudantes e aplicados aos fenômenos.

Neste artigo realizamos uma microanálise de dois episódios de ensino de dois professores, nos quais os estudantes foram convidados a representar, com o próprio corpo, um aspecto do conhecimento que estava sendo explorado em aula. Esta análise foi construída considerando a multimodalidade, uma vez que os dois professores utilizaram imagens para o que estavam tentando comunicar, e optaram por associá-las a outra forma de representação não comumente usada durante as aulas: a representação com o corpo.

Na análise dos episódios optamos por explorar o tempo de fala dos estudantes e dos professores, o comando do professor para que a representação acontecesse, as imagens registradas na lousa, o toque, os gestos e a proxêmica da sala de aula. A construção dessas categorias teve como objetivos caracterizar, por meio de registros audiovisuais de aula, a performance multimodal desses professores ao inserirem ativamente os estudantes na aula, e também analisar a produção de significados a partir da representação corporificada para o processo de polimerização de unidades de etileno e para as forças envolvidas na polaridade da molécula de água. Discutimos ainda a função do toque como recurso ou modo semiótico nas interações que aconteceram entre alunos e professores.

Como problema a ser investigado almejamos entender quais os significados produzidos nas aulas quando o corpo é empregado para representar o ente químico. Para isso definimos as seguintes questões de pesquisa: Quais são os modos ou recursos modais empregados pelos professores em associação à representação com o corpo, e quais são os possíveis significados produzidos junto aos estudantes?

REFERENCIAIS TEÓRICOS

A investigação que trata dos multimodos na comunicação e da presença desses multimodos na sala de aula está presente desde a década de 1950 (Smith, 1979; Portnoy, 1982). Considerando os estudos da Linguística Sistemico-Funcional de Halliday (1978; 1985), nos quais a linguagem passa a ser considerada uma rede de sistemas que oferecem opções para desempenhar funções orientadas socialmente, e a semiótica social, que defende a linguagem como um meio para expressar e estabelecer papéis e valores sociais, os estudos de multimodalidade se mostram importantes (Kress & van Leeuwen, 1996; Norris, 2004; Jewitt, 2009; Kress, 2009 e 2010).

Em uma análise multimodal são os modos – e não a linguagem – que passam a ser estudados em toda a sua materialidade. Segundo Bezemer e Kress (2008, p. 172), o modo é um recurso de produção de significado social e cultural. Sendo a linguagem multimodal por natureza acreditamos que os significados são mais facilmente produzidos quando diferentes modos são utilizados para comunicar uma ideia. No Quadro 1 apresentamos uma ampliação da síntese construída por Mortimer, Moro e Sá (2018) com o intuito de melhor entender os modos semióticos.

Quadro 1. Relação de modos com os respectivos recursos e meios ou suportes.

Modo semiótico	Recurso semiótico	Meio de comunicação/ Suporte
Fala	Entonação, pausa, velocidade	Aparelho fonador, gravador, microfone
Escrita	Palavras, orações, pontuação, parágrafos, caixa alta, negrito	Notebook, lousa, livro
Imagens	Sombra, plano, iluminação, cor	Quadro de giz, tela de projeção, livro
Imagens em movimento	Vídeo, simulação virtual	TV, computador
Gestos	Ação dêitica, modelagem	Corpo
Som, Música, Trilha sonora	Ritmo, timbre, dinâmica, tessitura	Rádio, computador, CD <i>player</i> , instrumentos musicais e outros
Objetos 3D	Modelo bola/vareta	<i>Kits</i> plásticos de objetos moleculares
Layout	Distribuição, desenho, plano	Jornal, revista, lousa ou página na internet

Fonte: baseada em Mortimer, Moro e Sá (2018, p. 27).

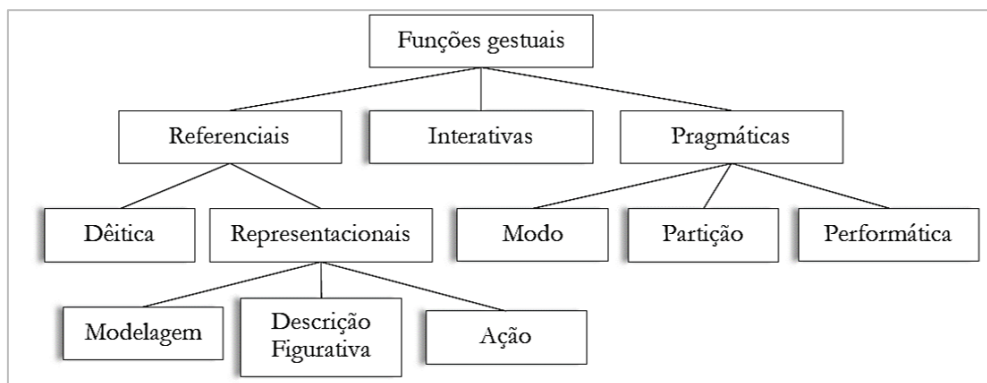
Conforme Kress (2009), os modos representam os “canais” de comunicação que uma cultura reconhece. No caso da fala, por exemplo, ela pode ser potencializada ao usar os seguintes recursos semióticos: entonação, para ressaltar um conceito; pausa, para chamar a atenção do ouvinte; maior ou menor velocidade, a depender da importância do que está sendo dito. Já na escrita, os recursos podem ser sintáticos, gramaticais, lexicais e gráficos. Como pode ser observado no Quadro 1, cada um dos modos semióticos possui recursos que potencializam esse modo e que podem ser explorados na comunicação.

Kress (2009) afirma ser a multimodalidade uma teoria que examina os diversos modos que as pessoas usam para se comunicar e se expressar. Adami (2016), por sua vez, a define tanto como um fenômeno da comunicação humana quanto um campo diversificado e crescente de pesquisa. Por ser um fenômeno da comunicação, ela combina diferentes recursos semióticos, tais como os textos falados ou escritos, as imagens fixas ou em movimento, os gestos, a proxêmica, o *layout*, entre outros. Como campo de pesquisa – ao qual O’Halloran e Smith (2011) se referem como “estudos multimodais” – há uma atenção para o desenvolvimento de teorias e de ferramentas analíticas, e para os estudos das representações e da comunicação que usam os modos como princípio organizador (Adami, 2016). Esse campo é abordado por meio de diferentes perspectivas (Jewitt, 2009) as quais, segundo Adami (2016), são baseadas em quatro pressupostos principais: a) a comunicação é, por natureza, multimodal; b) análises centradas na fala e na escrita não dão conta de explicar o significado; c) cada modo possui *affordances* específicos, decorrentes de sua materialidade; d) os diferentes modos contribuem entre si para a construção de sentidos, o que reforça a importância de relacioná-los. Portanto, as relações entre os modos são fundamentais para entender cada instância de comunicação.

Na literatura estrangeira existe um crescente enfoque da comunicação multimodal no ensino de Ciências (Tang, Tan & Yeo, 2011; Oh & Kim, 2013; Wilson & Bradbury, 2016; Zhang, 2016) e, principalmente, um enfoque nas representações (Tytler et al., 2013; Prain & Tytler, 2022). Entre os modos semióticos comumente investigados, os gestos receberam um destaque maior nas duas últimas décadas, uma vez que até então eram pouco considerados em termos de pesquisa envolvendo a comunicação. Nos

estudos multimodais, o gesto consiste em uma expressão da linguagem e estabelece uma relação dialética com a fala (McNeill, 2005). Essa dialética tem implicações metodológicas, uma vez que o gesto pode não ser apenas o movimento de mãos e braços, mas um movimento de partes do corpo que ocorre acompanhado pela fala. No entanto a informação presente no gesto nem sempre é a mesma da fala, ou seja, o gesto não é necessariamente subordinado a ela, o que o torna um modo semiótico. Já a classificação de Kendon (2004) envolve a funcionalidade do gesto e uma unidade gestual, fato que aproxima essa categorização da semiótica social. Essas funções gestuais, propostas por Kendon (2004), podem ser divididas em referenciais, interativas e pragmáticas, com suas respectivas subdivisões, conforme Figura 1.

Figura 1. Funções gestuais de acordo com Kendon (2004).



Fonte: Aizawa, (2016).

Na função referencial o gesto está relacionado a um objeto ou evento. A referência pode ocorrer pelo apontamento para o objeto de referência (função dêitica) ou pela representação do objeto (função representacional), que pode ser subdividida em outras três funções. Quando as partes do corpo são usadas para modelar o objeto de referência, a função é de modelagem. Quando usadas para descrevê-lo, é de descrição figurativa. E quando empregadas para uma ação semelhante à ação desse objeto, é de ação. Na função interativa o gesto promove a interação entre os sujeitos. E na pragmática ele está relacionado com o discurso, ao intensificá-lo ou ao produzir ritmo (função de modo), ao dividir em partes (função de partição) e durante um oferecimento, uma recusa ou uma negação (função performática).

Considerando que para Kendon (2004) os gestos são classificados pelas funções que desempenham, sugerimos que uma classificação semelhante seja atribuída à proxêmica, uma vez que o corpo e os objetos se posicionam no espaço da sala de aula, ora para representar alguma coisa, como nos gestos representacionais, ora para interagir com os estudantes, como acontece ao usarmos gestos interativos. Dessa forma, apoiados em Hall (1963), definimos a disposição espacial de corpos e objetos que serve para representar objetos ou ações como proxêmica representacional, e a que cumpre a função de promover a interação entre os sujeitos, seja organizando-os ou destacando aspectos daquilo que está sendo representado, como proxêmica interativa.

A relação entre gesto e fala no ensino de Ciências tem sido objeto de pesquisa na abordagem multimodal nos últimos 15 anos no Brasil. Destacam-se diversas pesquisas: análise da aprendizagem de estudantes por meio das interações multimodais entre o visual, o verbal e o gestual (Piccinini & Martins, 2004), análise da relação entre as palavras e os gestos de estudantes, mostrando que eles são capazes de se expressar com gestos e não com palavras (Padilha & Carvalho, 2011), estabelecimento de uma relação entre gestos e práticas epistêmicas (Sessa & Trivelato, 2013; Giordan, Silva-Neto & Aizawa, 2015) e

análise do uso dos gestos recorrentes de professores em aulas de Ensino Superior (Pereira, Mortimer, & Moro, 2015). Em nossos estudos os gestos têm se mostrado importantes para promover o que chamamos de transição entre modos (Quadros & Giordan, 2019), e neste trabalho a transição é explorada principalmente entre dois modos: a representação corporificada e a imagem.

O olhar e a proxêmica também têm recebido atenção de pesquisadores do campo da Educação em Ciências. No caso do olhar, Oben e Brône (2015) usaram dados de rastreadores oculares para analisar o efeito do olhar dos falantes em seus próprios gestos e o dos ouvintes nos gestos feitos pelo falante. Segundo esses pesquisadores há um efeito significativo no olhar do ouvinte para os gestos do falante, o que os levou a afirmar que o comportamento gestual é alterado em função do olhar.

O termo representação ou cognição corporificada tem sido usado na Psicologia – ligada à Neurociência – no que se refere a aprendizagens baseadas em experiências sensório-motoras, afirmando que a riqueza perceptiva e interativa pode fornecer oportunidades para aliviar a carga cognitiva (Pouw, van Gog & Paas, 2014). Nessa linha o movimento corporal está interligado com os processos mentais, e a performance corporificada ativa a cognição (Yang & Shu, 2011; Macedônia, 2019).

Hao e Hood (2019) analisaram a performance de um palestrante em relação ao uso da fala e do corpo na comunicação na construção de valores na Ciência. Para eles o uso do corpo foi considerado como representação corporificada. Com essa análise os pesquisadores argumentam que o auditivo (oriundo da linguagem falada) associado ao visual (oriundo da linguagem corporal) provocou ampliação de valores científicos, uma vez que os significados foram duplamente comunicados. Diferentemente da Neurociência, consideramos, assim como Hao e Hood (2019), que o corpo possui um caráter material, sendo uma extensão comunicacional. Da mesma maneira que a fala, o movimento corporal atuará como mediador na construção de significados.

Ao desenvolver estudos em epistemologias decoloniais biogeográficas, Bessa-Oliveira (2019) discute o corpo na escola e argumenta que aprender, ser e mover-se têm acontecido em perspectivas que têm o “lado certo” ou o “lado errado”. Segundo ele, na contemporaneidade outras formas de troca de conhecimento se fazem evidentes, uma vez que “a educação não acontece dissociada de corpo e movimento” (p. 99). Portanto, o corpo e a mente não podem estar dissociados durante a aprendizagem, e os estudantes, por meio da corporificação dos entes químicos, podem estar construindo significados com real potencial para se transformarem em conhecimento.

Na literatura nacional, alguns trabalhos analisaram a movimentação de professores que interagem com o meio material para a produção do conhecimento científico (Silva-Neto, Giordan & Aizawa, 2015; Silva-Neto, Giordan & Aizawa, 2016; Moro, Mortimer & Tiberghien, 2019), o uso de gestos associados à fala (Aizawa, Silva-Neto & Giordan, 2014; Moro et al., 2015; Pereira, Mortimer & Moro, 2015) e o uso que professores têm feito do corpo como forma de construir significados (Mortimer et al., 2014).

O corpo humano se vale dos gestos como meio de comunicação e pode estar em contato com outros corpos físicos pelo tato. Contudo, faz-se necessário aprofundar na compreensão de como se dá a construção de significados na presença de gestos e de toques em sala de aula. Embora tenha sido objeto de pesquisa relacionada à produção de aprendizado por meio de aparelhos touch screen (Cordero et al., 2018), ou de estudo envolvendo comunidades surdocegas (Bezemer & Kress, 2014), para as quais, com base na teoria semiótica social, o toque pode ser considerado um modo, o uso do toque não tem sido investigado como modo ou recurso semiótico na ausência de tais tecnologias.

Bezemer e Kress (2014) partem da semiótica social para explorar maneiras pelas quais o toque é usado como um recurso para criar significado e descompactar a multiplicidade de significados ligados ao próprio termo. Esses pesquisadores buscam entender se o toque pode ser considerado um “modo” para além das comunidades específicas citadas e, assim, ter uma função semiótica em uma comunidade mais ampla. Para tal, é preciso atender às metafunções de Halliday, ou seja, lidar com as relações interpessoais, ideacionais e textuais (Kress, 2009; 2010). Nesse sentido, destacam-se aspectos essenciais do modo semiótico e sua natureza representacional e comunicacional:

ser capaz de transmitir significados sobre as relações sociais daqueles que estão engajados na interação; dar conta de estados de coisas – ‘acontecimentos’ – no mundo; e ser capaz de formar entidades semióticas completas, que apresentem coerência interna e com o ambiente externo em que ocorrem (Bezemer & Kress, 2014, p. 78).

A função ideacional é a representação dos significados nas ações, nos estados e nos eventos do mundo, ou seja, das experiências de mundo por meio da linguagem. A função interpessoal é a representação dos significados nas relações sociais da comunicação, isto é, as estratégias de aproximação e de afastamento daquele a quem se dirige a mensagem. A função textual, por sua vez, é a capacidade de formar textos em um projeto completo de coerência interna. Por isso, Bezemer e Kress (2014) defendem que um modo deve possuir essas três funções como características na comunicação para a produção de significado.

Para diferenciar gesto de toque, Bezemer e Kress (2014) defendem que o gesto é produzido por meio de um conjunto integrado de movimentos das mãos, dos dedos, dos braços e pela expressão facial, sendo recebido por meio da visão. O toque, em contrapartida, depende do contato – geralmente usando as mãos ou os dedos – entre o comunicante e o receptor. Ressaltamos que esses pesquisadores investigaram o toque explícito, isto é, aquele que tem a intenção de comunicar alguma coisa, ou seja, a pessoa que toca se dirige a outro. Após demonstrar as formas em que o toque foi um meio usado para construir significados, eles alertam para a necessidade de mais pesquisas sobre o tema, uma vez que se trata de um estudo inicial, julgado insuficiente para que o “toque” seja considerado como um modo semiótico na comunicação.

Cada um dos modos usados na comunicação se utiliza de diferentes recursos modais, a depender da audiência e do construto a ser feito. Nesse sentido, cada modo possui *affordances* específicos para a produção de significados (Kress, 2010). O termo *affordance* foi criado por Gibson (1977) a partir do verbo *to afford*, cujo significado poderia ser resumido como “proporcionar”. Para Gibson o termo pressupõe uma potencial ação de um objeto, e para Halliday, o potencial está no sentido compartilhado socialmente (van Leeuwen, 2005). No caso dos modos semióticos, o *affordance* modal inclui tanto a potencialidade quanto a limitação de um determinado modo. Os *affordances* modais referem-se às características do modo que possibilitam ou restringem significados.

Tytler et al., (2013) defendem um modelo representacional por *affordances* para que as representações sejam o centro das ações em atividades de ensino. Prain e Tytler (2022) ressaltam que diferentes modos realizam diferentes trabalhos na construção de significados na Ciência, e que transitar entre diferentes modos pode significar tanto a reiteração quanto a complementaridade de significados linguísticos e não linguísticos que constituem a natureza dos conceitos e processos na Ciência. Para eles todos os modos de representação possuem *affordances* particulares que atuam como restrições produtivas, de forma a atender dois requisitos: a) mostrar uma correspondência entre as características explicativas e as características-chave dos fenômenos; (b) demonstrar coerência interna como relato explicativo.

Danielsson (2016) analisou as maneiras que quatro professores de Química (dois suecos e dois finlandeses) se valeram de diferentes recursos semióticos ao introduzirem um novo conceito científico nas aulas de Ciências do Ensino Médio. Segundo Danielsson (2016), o uso que esses professores investigados fizeram de modos diferentes dos comumente usados provavelmente está relacionado ao *affordance* modal, uma vez que o desenho explorou diferentes partículas em um átomo e os gestos deram movimento a essas partículas. A diversidade de modos utilizados pelos professores permitiu que os estudantes percebessem, de forma mais abrangente, o conteúdo desenvolvido.

Partindo da hipótese de que a comunicação é constituída de uma estrutura de modos (Bezemer & Kress, 2008) realizamos uma microanálise de duas performances de diferentes professores. Como isso concentramos nossa atenção nos *affordances* da representação corporificada usada por esses professores.

METODOLOGIA

Os dados analisados nesta investigação foram produzidos a partir da gravação em áudio e vídeo de aulas de um minicurso durante o estágio curricular do curso de Licenciatura em Química de uma universidade pública em São Paulo e, também, a partir da gravação em áudio e vídeo de um conjunto de aulas do nono ano do Ensino Fundamental de uma escola privada da região metropolitana de Belo Horizonte. No primeiro caso selecionamos, do conjunto de aulas do minicurso, um episódio ocorrido na aula do professor Pedro por conta do uso de uma performance com o corpo para representar a ligação química, e também por ter sido fruto de uma improvisação no planejamento inicial. No segundo caso o episódio selecionado fez parte de um conjunto de aulas previamente planejadas pela professora Selma para construir conhecimento sobre a polaridade das moléculas. A seleção levou em conta a intencionalidade de desenvolver a representação corporificada da molécula de água, incluindo a polaridade.

O minicurso, cujo tema era o descarte de plásticos, tratava do processo de produção desses plásticos. Participaram desse minicurso 27 estudantes do Ensino Médio de uma escola federal. O professor responsável era um licenciando em Química que não tinha qualquer experiência com a docência. A turma do Ensino Fundamental, por sua vez, contava com 22 estudantes, com idades entre 14 e 16 anos. A professora Selma possuía em torno de dez anos de experiência docente, é licenciada em Química e mestre em Educação.

Em ambos os casos os sujeitos de pesquisa haviam preenchido um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, seguindo orientações dos respectivos comitês de ética em pesquisa (COEP). Os nomes dos professores, assim como eventuais nomes de estudantes citados ao longo do texto são fictícios, seguindo as premissas éticas da pesquisa envolvendo seres humanos.

A característica comum aos dois episódios foi a representação corporificada: no primeiro caso, da ligação química e, no segundo, da geometria molecular. A análise desses episódios demandou a codificação de diversos modos semióticos ao longo dos episódios. Cada episódio foi assistido por cada um dos pesquisadores, a fim de definir as categorias de análise. Em função dos objetivos da pesquisa, as categorias analisadas foram: tempo de fala do professor, tempo de fala do estudante, comando do professor, toque, proxêmica representacional, proxêmica interativa, gestos dêiticos, gestos representacionais e apoio na lousa, na qual havia imagens (desenhos e projeções). Essas categorias foram inseridas no *software NVivo*®, gerando como resultado um conjunto de diagramas, nos quais foram

representadas as categorias em diferentes cores e linhas (Figuras 2 e 8). Para facilitar a leitura dos diagramas, deixamos de incluir os gestos dêiticos e representacionais, os quais foram apenas referidos na análise e nos quadros de transcrição.

Os episódios foram transcritos integralmente como parte da análise. Optamos por usar pontuação nas falas de maneira a caracterizar expressões interrogativas e demarcações modais, baseando-nos na entonação das falas, nas expressões faciais dos falantes e em suas posições. Alguns fragmentos dessa transcrição foram usados com a intenção de deixar mais claro o que aconteceu na sala de aula. Nos quadros de transcrição (2 a 9) foi adicionada uma coluna para descrever outras categorias modais que se articulam à fala. Figuras ilustrativas das performances (3 a 6 e 9) foram desenhadas para auxiliar a compreensão dos movimentos e também para preservar a identidade dos sujeitos da pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

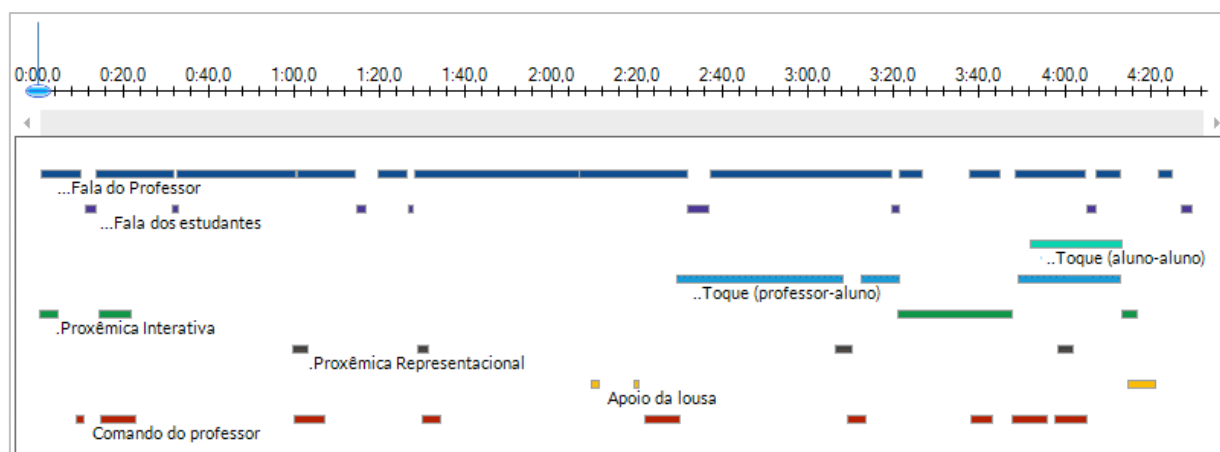
Apresentamos, a seguir, a análise dos dados de cada um dos professores, ou seja, a análise do episódio em que o estudante de licenciatura em Química representou o processo de polimerização do etileno e a análise do episódio em que a professora de Ciências iniciou a discussão da polaridade da molécula de água a partir das forças presentes em cada uma das ligações. Exploramos os diagramas de categorização multimodal, os quadros de transcrição e as ilustrações das performances, que representam diferentes níveis de representação dos dados.

A performance de modelagem da ligação química e do processo de polimerização

Na aula da qual foi extraído o episódio, o professor Pedro tratava do processo de formação do polietileno a partir do eteno. Em determinado momento, após perceber que a imagem do modelo bola vareta projetada na lousa não se mostrava suficiente para a compreensão desse processo, o professor decidiu improvisar e construir com a ajuda dos estudantes uma representação corporificada que pudesse traduzir as duas representações². Ao perceber, pela reação da turma, que o conhecimento de ligação química era limitado, o professor solicitou o auxílio desses estudantes para que representassem com seus corpos a ligação química e o processo de polimerização. Como nessa performance as ações foram conduzidas pelo professor, transcrevemos suas falas acompanhadas de outras categorias modais da ação como gesto, proxêmica e olhar. Para tanto, partimos da análise do diagrama de categorização multimodal obtido no *software NVivo®* (Figura 2), do qual podemos extrair as seqüências de interação, segmentando o episódio a partir de demarcações dos modos semióticos que denotam fases da interação. A duração total do episódio foi de 4 minutos e 12 segundos.

² Essas informações foram observadas durante a sessão de análise das aulas dos licenciandos e confirmadas em uma entrevista realizada ao final da disciplina.

Figura 2. Faixa de codificação no *NVivo* para o episódio do professor Pedro (ligação química entre dois carbonos e polimerização).



Fonte: autores, a partir do *software NVivo*®.

Na Figura 2, a densidade de codificação indica a quantidade relativa de categorias discriminadas ao longo da faixa temporal, o que permite reconhecer a quantidade de modos semióticos mobilizados. Podemos observar que a maior densidade se encontra no final do episódio. A faixa em azul-escuro mostra que a fala do professor prevaleceu (cerca de 3 minutos e 32 segundos) em detrimento da fala dos estudantes (aproximadamente 15 segundos), demarcada em lilás. O restante do tempo (cerca de 25 segundos) foi de risos ou de silêncio. Também foram codificados os toques entre o professor e os alunos (azul-claro) e entre os alunos (verde-claro), demarcando no primeiro caso a formação do monômero e, no segundo, a formação do polímero. A categoria representada em vermelho, comando do professor, se refere às falas que orientavam a ação dos estudantes. Em amarelo estão indicados os momentos em que o professor fez referência à figura projetada na tela, que coincidem com o direcionamento do seu olhar. Por fim, codificamos com a cor preta o movimento do professor em relação aos estudantes – proxêmica representacional, com a qual ele performou a ligação química e a polimerização –, e com verde-escuro o movimento do professor, o qual classificamos como de interação, ou seja, a proxêmica interativa.

No primeiro comando (em vermelho) o professor pediu à estudante que se voluntariou para participar que se levantasse e se dirigisse ao plano frontal da sala. Para isso, a fala de Pedro foi associada a gestos interativos reiterados. Esse “convite” denota a quebra de assimetria na interação, na medida em que a posição frontal da sala é tipicamente ocupada pelos professores e, com esse convite, o professor permitiu que o espaço tradicionalmente seu fosse ocupado pelos estudantes.

Quadro 2. Fragmento de fala do professor Pedro ao organizar a representação corporificada.

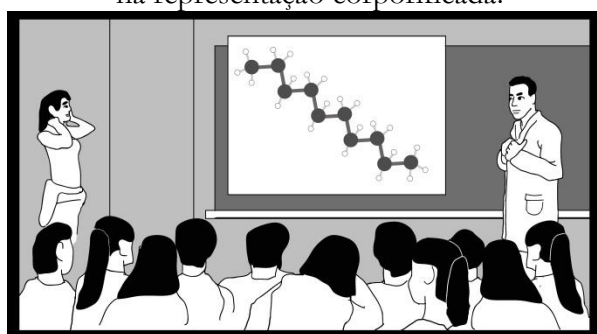
Transcrição da fala	Características multimodais da ação
Prof.: Alguém? Tem um voluntário aí para simular uma ligação comigo?	Professor ergueu o braço esquerdo deixando a palma da mão voltada para frente.
Prof.: Alguém se voluntaria?	Professor novamente ergueu o mesmo braço, fazendo gesto semelhante ao anterior.
Prof.: Por favor, gente! Chega chega aí	Professor levantou o braço esquerdo, puxando-o para si, enquanto dizia: “Chega chega aí”.

Fonte: autores.

O professor fez uso do termo “simular” para conferir significado ao movimento interativo que viria em seguida, ou seja, a ligação química. Assim que a estudante voluntária chegou à frente, teve início o segundo comando do professor.

No segundo comando, o professor orientou a estudante a ficar em uma posição frontal a ele, a uma distância entre dois e três metros, sendo que os dois ficaram em posição lateral aos estudantes, conforme Figura 3. Nesse momento o professor descreveu detalhadamente o que cada um representava nessa performance. Nessa descrição ele combinou a fala com gestos dêiticos (ao apontar para a estudante e para si mesmo), de ação (ao mostrar com a mão a aproximação que ocorreria no espaço da ligação química) e de modelagem (ao tratar da atração entre a carga positiva de um núcleo e a negativa da eletrosfera do outro carbono). Além disso ele alternou o olhar em direção à estudante e à turma. Com isso foi explicitado que os corpos da estudante e do professor representavam átomos de carbono.

Figura 3. Posição inicial do professor e da estudante na representação corporificada.



Fonte: imagem desenhada a partir do vídeo.

Em continuidade, o professor mencionou que os dois corpos iriam se aproximar e formar uma ligação química. Segundo Tytler et al., (2013), quando o professor explicita o que será representado um processo deliberado de raciocínio está em formação. Dessa forma, foi pela fala do professor que a construção de significados para representar a ligação química – acompanhada dos gestos, olhar e deslocamento – começou a acontecer, sendo, portanto, mediada por um conjunto de modos semióticos sincronicamente combinados. Ao tratar da atração entre os átomos, a estudante e o professor se preparam para representar a formação de uma ligação química. No Quadro 2 apresentamos um extrato desse diálogo:

Quadro 3. Fragmento da fala do professor Pedro, no segundo comando do professor.

Transcrição da fala	Características multimodais da ação
Prof.: O que acontece, então?	Professor olhou para a turma.
Prof.: Para a gente estabelecer uma ligação química, a gente vai ter que se aproximar, beleza?	Professor levantou um pouco os braços e fez movimento de abrir e fechar as mãos, indicando a aproximação, em gestos de ação.
Prof.: Mas por que e como a gente se aproxima?	Professor olhou para a turma.
Prof.: O núcleo positivo. Vocês sabem que tem um núcleo positivo, né?	Fez uso de gesto dêitico, apontando para a estudante e, em seguida, dirigiu o olhar para a turma. Fez gestos de modelagem, movendo as mãos para modelar o núcleo.
Prof.: O núcleo positivo (dela) vai atrair os meus elétrons, tá ok?	Olhou e apontou para a estudante, usando gesto dêitico e depois apontou para si mesmo.
Prof.: E o meu núcleo positivo vai atrair os elétrons daquele carbono.	Usou gesto de modelagem ao falar “meu núcleo” e gesto dêitico, apontando para a estudante, ao falar “daquele carbono”.

Fonte: autores

A combinação de gestos dêiticos, de ação e de modelagem com a fala e a alternância do olhar certamente contribuíram para que os estudantes entendessem o que o professor estava comunicando e pudessem acompanhar a performance que aconteceria a partir daquele momento. A partir do olhar o professor parecia querer se certificar de que os estudantes estavam acompanhando a explicação referente à representação que aconteceria na sequência.

No terceiro comando o professor orientou a aproximação dos corpos até uma distância de cerca de um metro entre ele e a estudante, momento em que ele fez um gesto performático, indicando que a estudante deveria parar o movimento de aproximação. No quarto comando a aproximação continuou até um limite fixado pelo professor, indicando as forças de repulsão presentes. Nesse momento a proxêmica foi explorada, uma vez que a alteração da distância entre o professor e a estudante produziu um significado para a aproximação entre os átomos de carbono, a qual não estava representada na imagem da tela de projeção, cumprindo uma função representativa de modelagem para esse modo semiótico. No Quadro 4 apresentamos parte do diálogo ocorrido após o terceiro comando do professor:

Quadro 4. Fragmento de fala do professor Pedro após o terceiro comando.

Transcrição da fala	Características multimodais da ação
Prof.: Pronto chegou até aqui os nossos orbitais ... eles começam a se encostar, beleza?	Professor desceu e subiu a mão em posição supinada em movimento curvado, ao mesmo tempo que se referia aos orbitais.
Prof.: Oh... a partir daí vai acontecer / sério	A estudante cobriu o rosto com as mãos, rindo. Colegas riram, e o professor interrompeu sua fala e seu olhar alternou-se entre a estudante e a turma.
Prof.: Presta atenção, pessoal. Os nossos orbitais irão se encostar e haverá uma interpenetração.	Professor desceu e subiu a mão em posição supinada em movimento curvado, ao mesmo tempo que se referia aos orbitais, em gestos de modelagem. Em seguida, alternou a mão ainda supinada em direção à estudante e a ele.
Prof.: É verdade, pô! É o nome que se usa! ... Prestem atenção!	Risos gerais após terem ouvido “interpenetração”.
Prof.: Se aproxima, se aproxima, pronto, parou parou beleza?	O professor e a estudante se aproximaram e o professor fez gesto performático com as mãos em posição pronada, ao pronunciar “pronto, parou, parou” e olhou para a turma.
Prof.: O que aconteceu? Ocorreu uma interpenetração dos orbitais, né?	Professor alternou o olhar (turma e estudante) e fez movimento de vai e vem com dois dedos pronados em direção à estudante e a ele.
Prof.: Mas eu não consigo aproximar mais. Por quê? O núcleo positivo dela e o núcleo positivo meu estão se repelindo.	Olhando para a turma, o Professor repetiu o gesto de vai vem, enquanto mencionava a aproximação. Ao citar os núcleos, apontou para a aluna e para si mesmo. Em seguida, o professor posicionou as duas mãos semifechadas em oposição e as afastou, enquanto se referia à repulsão, em gesto de modelagem.
Prof.: Eles não conseguem se aproximar mais.	Olhando para a turma, o Professor movimentou as mãos em posição supinada alternando-as em direção à aluna e ele.
Prof.: Esse ponto é o ponto de estabilidade da molécula.	Olhando para a turma, o Professor manteve as mãos supinadas, agora movimentando-as em vai e vem vertical, marcando o ponto de estabilidade.
Prof.: Nós acabamos de estabelecer uma ligação / simples / né?	Alternou o olhar entre a mão direita supinada e a turma. Em seguida movimentou dois dedos em vai e vem em direção à aluna, com breve pausa entre as palavras.
Prof.: É um tracinho, né?	Olhando para a turma, ergueu os dois dedos da mão direita em posição neutra e os movimentou em vai e vem em direção à aluna.

Fonte: autores

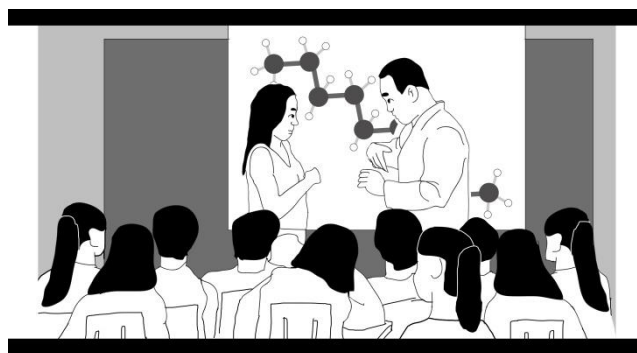
O gesto de modelagem, usado pelo professor ao falar “orbitais”, caracterizou uma região delimitada de cima a baixo em forma de curva (Quadro 4) e impeliu significado ao movimento resultante da aproximação entre eles (“começam a se encostar”). Em seguida esse significado foi estendido pelo uso do termo “interpenetração”, que foi acompanhado do mesmo gesto de modelagem anterior e seguido por um gesto dêitico que indicava a distância entre os corpos. Por um momento os estudantes se

manifestaram com risadas, em função de um possível duplo sentido da palavra “interpenetração”. O professor, no entanto, interrompeu a explicação e reforçou que se tratava de termo empregado para caracterizar a ligação química, dando prosseguimento à performance.

Assim, ao mesmo tempo em que o professor negociava o significado para a ligação química por meio de uma performance corporal e do uso de terminologia específica, a agitação dos estudantes pode ter comportado sentidos resultantes não apenas da aproximação dos corpos do professor e da estudante, mas também de um sentido alternativo à ligação química latente no termo “interpenetração”. Dessa forma, observamos que momentaneamente as entidades químicas deixaram de ser o foco de atenção, e possivelmente outros sentidos foram produzidos pela orquestração dos modos semióticos. Conforme já destacado, Bessa-Oliveira (2019) critica o fato de a aprendizagem ser relacionada quase que exclusivamente à mente, enquanto o corpo é aquele que senta, ouve e obedece, o que explica o estranhamento desses estudantes ao serem chamados a representar um ente químico com o próprio corpo. Os dados analisados neste trabalho nos mostram que, assim como defende Bessa-Oliveira (2019), o corpo e os movimentos também produzem aprendizagens.

Na sequência da interação (Quadro 4) o professor lançou mão de gestos de caráter representativo para retratar a formação da ligação química, os quais foram combinados com o deslocamento e com o olhar em direção ao grupo e em direção aos corpos. Destacaram-se o gesto de modelagem e o de vai e vem dos dedos para representar a zona entre os átomos de carbono, o gesto dêitico para a posição desses átomos, e o gesto de ação com as mãos semifechadas em oposição para a repulsão entre os núcleos (Figura 4).

Figura 4. Gestos de ação com as mãos semifechadas, representando a repulsão entre os núcleos.



Fonte: imagem desenhada a partir do vídeo

Em seguida o professor olhou para a tela de projeção e apontou para a representação do etileno – cujas ligações eram objeto de estudo – que estava projetada. Ele chamou a atenção da turma para o fato de o etileno fazer ligação dupla entre os carbonos. Ele se voltou então para a estudante à sua frente e iniciou o quinto comando unindo a sua mão esquerda à direita da estudante, fazendo com que o “traço” que na imagem projetada representava a ligação fosse similar aos dois braços unidos. Logo depois ele uniu sua mão direita com a esquerda da estudante para representar a ligação dupla, dizendo: “Os nossos elétrons vão se unir, tá ok?”. Novamente os estudantes se manifestam com risadas, atraídos por uma das estudantes que ironicamente pronunciou “uhmmmm” com entonação prolongada. Nesse momento da performance ocorreu o toque que Bezemer e Kress (2014) consideram um modo semiótico por exercer as três funções representacionais de Halliday, além de outras características já descritas. A função ideacional correspondeu às ligações simples e dupla formadas entre os dois participantes e aos seus papéis como átomos de carbono. A função interpessoal se deu no vínculo estabelecido entre a cena

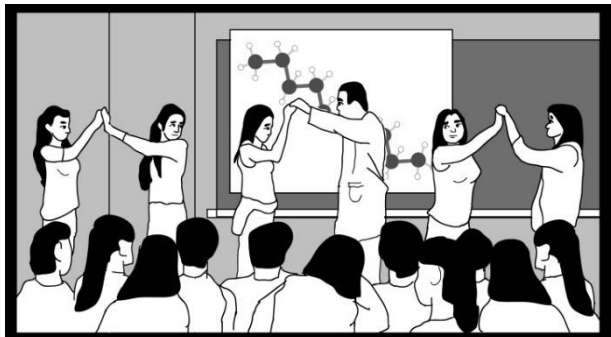
performada pelos dois e a audiência presumida. Já a função textual se deu nas relações entre toda a representação cênica e o modelo de ligação química construído, ou seja, ao significado construído pela união dos corpos por meio do toque entre as palmas das mãos na interação entre os átomos de carbono. Nesse momento da representação com o corpo foram usados ao mesmo tempo um significante tátil e um significante visual.

No sexto comando o professor orientou a estudante que representasse a quebra de uma das ligações e comunicou à turma que os elétrons ficavam livres, indicando as mãos livres (esquerda dele e direita dela), mantendo-se apenas uma das ligações, a sigma. Nesse momento da performance ambos se posicionaram lateralmente entre si e de frente para a turma, mantendo o olhar direcionado para a turma.

Nessa performance, fala, corpo, gesto, toque, olhar e proxêmica compuseram uma estrutura multimodal para a significação da ligação dupla entre os átomos de carbono na molécula de etileno, entendimento necessário para que o professor pudesse iniciar o processo de polimerização com outras unidades de eteno.

Para prosseguir com a construção da representação do polímero uma segunda performance multimodal aconteceu com a participação de outros estudantes. O professor solicitou mais quatro voluntários para dar continuidade à representação, e rapidamente outras três estudantes se posicionaram à frente da sala, e uma quarta se dirigiu timidamente, após o professor dizer com as mãos abertas em gesto interativo: “falta mais um aqui, gente”. No sétimo comando o professor organizou os voluntários em pares, na posição em que as ligações duplas já estavam formadas (Figura 5).

Figura 5. Momento em que o professor e as estudantes representavam o rompimento e a formação de novas ligações.



Fonte: imagem desenhada a partir do vídeo.

Tão logo as três duplas estavam posicionadas o professor iniciou o oitavo comando e, após breve explicação, o nono comando, quando repassou as orientações descritas no Quadro 5:

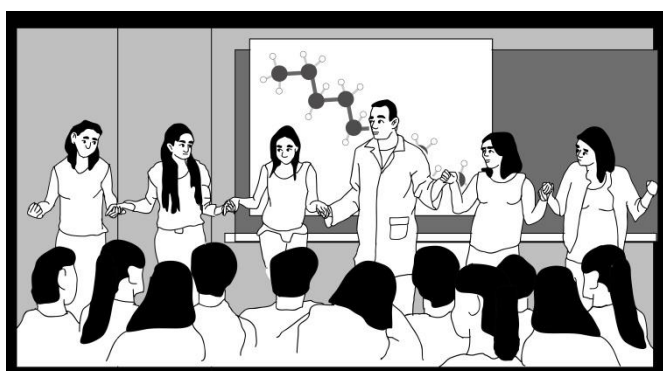
Quadro 5. Fragmento da fala do professor Pedro durante o nono comando.

Transcrição da fala	Características multimodais da ação
Prof.: Beleza, nós estamos aqui, ó. A mesma coisa, copia!	Professor uniu sua mão esquerda à direita da estudante ao alto, mantendo-se de frente, e as outras duplas repetiram o movimento.
Prof.: Então essa ligação irá se quebrar, beleza?	Professor soltou sua mão esquerda da direita da estudante e movimentou seu corpo, em um ângulo de 90°, ficando de frente para a turma. Ele levou a mão e o olhar em direção à estudante ao seu lado esquerdo.
Prof.: Quebrar. Aqui.	O Professor voltou o olhar para a outra dupla e uniu sua mão direita à estudante que formava o monômero inicial.
Prof.: Vamos representar a ligação sigma dessa forma. Tá vendo?	Nesse momento, Professor e estudantes estavam de mãos dadas de frente para a turma.
Prof.: Nós acabamos de formar um polímero	Após pausa de quatro segundos, o professor falou, olhando para a turma.

Fonte: autores

Considerando a experiência com as performances feitas (da ligação entre os dois carbonos e da quebra de ligação), com duração de três minutos, a cena de representação da formação do polímero foi realizada com rapidez e facilidade, em menos de um minuto. A partir das três duplas, formadas pelas estudantes e pelo professor, representando três monômeros e, portanto, três ligações duplas, representadas pelos toques entre as mãos, o professor comandou os movimentos dos corpos para unir, separar e unir novamente as mãos entre si, de forma coordenada e síncrona. Curiosamente, o professor orientou cada uma das duplas a unir apenas uma das mãos ao alto, para a ligação dupla. Apenas quando ocorreu o movimento para desunir as mãos dadas foi que o professor tocou a mão das estudantes que o ladeavam, sendo seguido sincronicamente pelas outras duplas, o que resultou na formação de uma espécie de cadeia de mãos dadas. Ao fundo, a estrutura do polietileno permaneceu representada na tela ao longo de toda a performance (Figura 6).

Figura 6. Imagem do momento em que a representação foi concluída.



Fonte: imagem desenhada a partir do vídeo.

Após a performance corporal, o professor agradeceu às estudantes pela participação e se voltou para a tela de projeção para se referir à unidade polimérica do polietileno representada por um *software* de simulação. Ele marcou um agrupamento na imagem na tela de projeção e disse: “o polímero tem esta unidade de repetição”. Com isso ele retomou o contexto de apresentação do polímero que já havia sido desenvolvido, mesmo que essa representação imagética tenha sido referenciada apenas por uma fração de segundos durante a performance. Vale destacar que a performance corporal foi classificada pelo professor como simulação (Quadro 2) e a imagem projetada na tela de projeção (Figura 6) também era decorrente de uma simulação.

A performance das forças presentes na estrutura da água

A experiência relatada a seguir se deu em uma turma do nono ano do Ensino Fundamental de uma escola privada da região de Belo Horizonte/MG. A grade curricular contempla cinco aulas semanais de Ciências, de 50 minutos cada, e essa etapa da escolaridade significa o primeiro contato dos estudantes com o ensino formal de conceitos, modelos e representações características da Química. Embora exista uma flexibilidade metodológica, a escola utiliza como material didático as apostilas do Sistema de Ensino Bernoulli (Machado, Raggazzi, & Guedes, 2019) e, entre os conteúdos, estão as ligações químicas, a estrutura de Lewis, a polaridade das ligações e das moléculas e a geometria molecular.

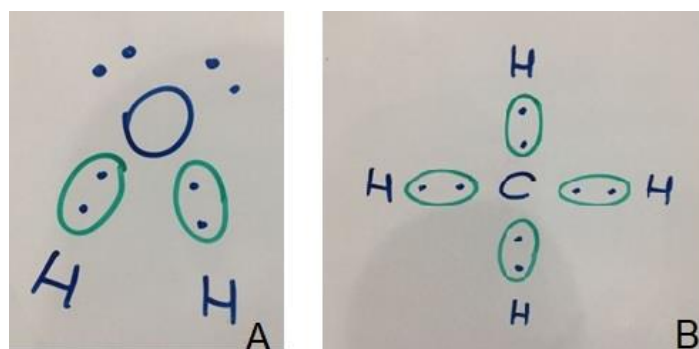
Selecionamos um episódio ocorrido durante o ensino do conteúdo de geometria molecular, considerando que os estudantes já haviam aprendido que a polaridade das ligações é decorrente da eletronegatividade de cada átomo envolvido na ligação. A professora, ao inserir a polaridade das moléculas, fez uma pergunta que gerou o seguinte diálogo (Quadro 6):

Quadro 6. Fragmento de diálogo ao inserir o conteúdo de polaridade das moléculas.

Transcrição da fala	Características multimodais da ação
Prof.: Agora vamos lá. Se uma ligação, dentro da molécula, pode ser polar ou apolar, como eu posso avaliar a polaridade da molécula como um todo?	Professora olhou e apontou para o desenho na lousa.
Júlia: Professora, pensa comigo. Se aquele ali só tem ligação polar, a molécula é polar. É isso?	Júlia apontou para a imagem desenhada na lousa.
Prof.: É isso que eu quero saber!	Professora fez um gesto performático com os braços, como a oferecer o problema para a turma.
Mariana: Quanto mais ligação polar tiver, mais polar é a molécula.	-
Prof.: Vocês conseguiram ouvir o que a Mariana disse?	Professora olhou para toda a turma, apontado para Mariana.
Alunos: Não.	-
Prof.: Primeiro a Júlia disse que se uma molécula tem ligações polares, ela é polar. Se uma molécula tem ligações apolares, ela é apolar. A Mariana disse que vai ser o que predomina. Se em uma molécula predominar ligações polares, ela vai ser polar. Se tiver mais ligações apolares, a molécula será apolar. O que vocês acham?	Professora usou gestos dêiticos ao se referir a Júlia e a Mariana e olhou para elas. Em seguida olhou para a turma.
Alunos: Sim.	-
Prof.: Vamos pensar em algumas coisas...	-

Fonte: autores

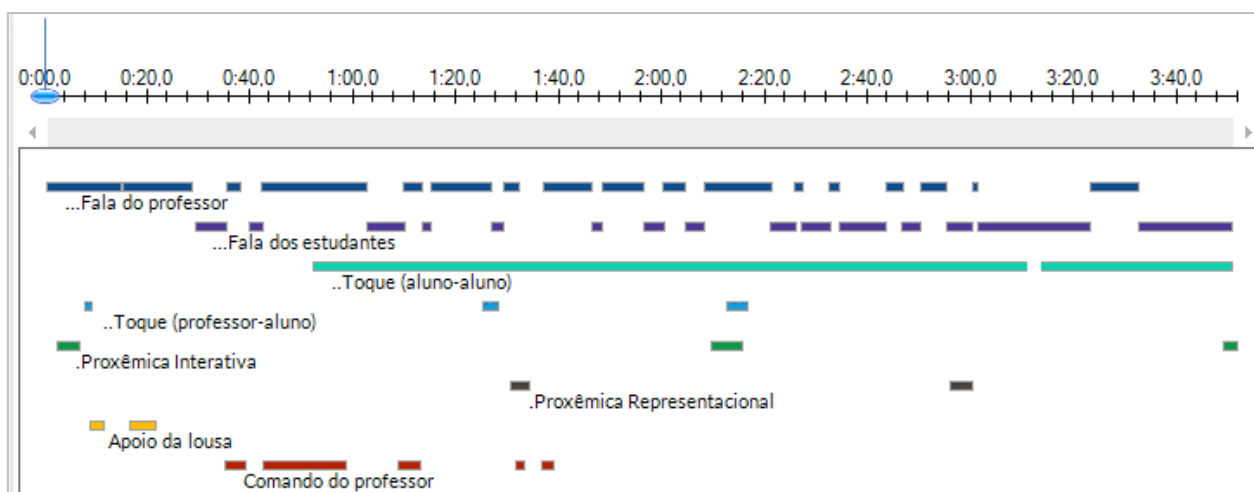
As falas de Júlia e Mariana mostram que elas estavam construindo uma ideia que lhes permitisse prever a polaridade das moléculas. Os demais estudantes mostraram concordância com a ideia compartilhada por elas, uma vez que o raciocínio das colegas apresentava um encadeamento direto entre a predominância de ligações polares ou apolares e a polaridade da molécula. Visando fomentar a discussão sobre a polaridade das moléculas a professora pediu que eles desenhassem na lousa as estruturas de Lewis para as moléculas da água e do metano (Figura 7), além de outras que seriam exploradas durante a aula.

Figura 7. Representação da estrutura de Lewis para as moléculas da água (A) e do metano (B).

Fonte: imagem presente na lousa.

Como não foi possível aos estudantes fazerem uma previsão cientificamente aceita para essas moléculas, a professora propôs a representação corporificada. Para isso, três estudantes (Antônio, Júlia e Letícia) se voluntariaram e foram para frente da sala, com uma quebra de assimetria na interação como no primeiro episódio. A professora organizou, então, a atividade de representação, que foi realizada pelos três estudantes. Seleccionamos para análise o episódio em que aconteceu a performance (com um total de 3 minutos e 39 segundos), partindo do diagrama de categorização multimodal obtido por meio do *software NVivo®* (Figura 8) e usando as mesmas categorias da análise anterior.

Figura 8. Faixa de codificação no *NVivo* para o episódio da professora Selma (representação da polaridade da molécula de água)



Fonte: autores, a partir do *software NVivo*®

Ressaltamos que nesse episódio a performance foi planejada pela professora e foi realizada exclusivamente pelos estudantes, orientados por ela e pelos demais colegas. Na Figura 8 podemos observar que a densidade (cinza) é mais homogênea, uma vez que diferentes modos semióticos foram usados simultaneamente. Os comandos da professora (vermelho) aconteceram na primeira metade da performance, sendo que no restante do tempo ocorreram discussões visando o entendimento do que estava sendo representado. As falas da professora estão codificadas em azul-escuro e as dos estudantes em lilás. Os estudantes tiveram uma participação verbal mais intensa (1 min e 48 s) do que no episódio do professor Pedro. A categoria apoio da lousa (amarelo) se limitou ao início do episódio, quando a professora os convidou a construir explicações. O toque entre os estudantes (verde-claro) teve início aos 50 segundos e durou até o final do episódio, e foi fundamental para que as forças envolvidas fossem discutidas. Já os toques entre a professora e os estudantes ocorreram apenas três vezes (azul-claro), nos momentos em que ela se aproximou para enfatizar um aspecto da representação. Também estão codificadas a proxêmica interativa (verde-escuro) e a proxêmica representacional (preto).

A professora explicou inicialmente o papel de cada um dos voluntários, ou seja, que Antônio seria o átomo de oxigênio e que as duas meninas seriam os de hidrogênio. Em seguida, ela solicitou ajuda de toda a classe, conforme diálogo presente no Quadro 7:

Quadro 7. Fragmento de diálogo durante o primeiro e o segundo comando da professora Selma.

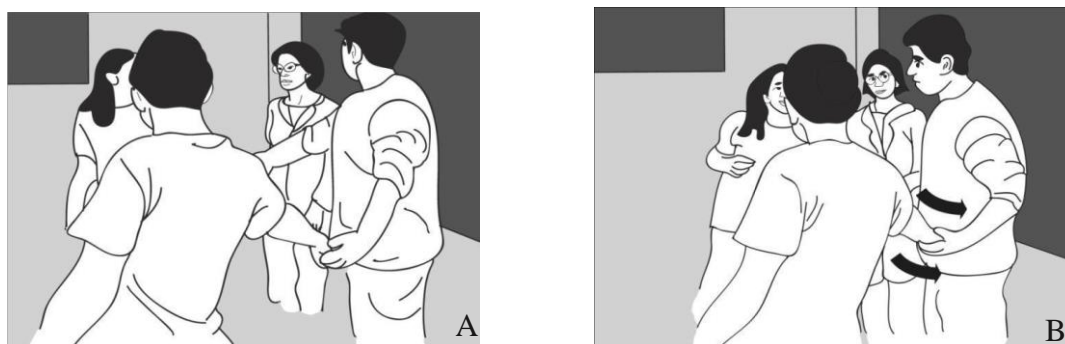
Transcrição da fala	Características multimodais da ação
Prof.: O Antônio é um átomo de oxigênio, que como vocês disseram antes, é o mais eletronegativo. As meninas são átomos de hidrogênio.	Professora encostou a mão no ombro de <i>Antônio</i> e, em seguida, apontou para a lousa, com gestos dêiticos, enquanto olhava para a turma. Depois apontou para as meninas e novamente para a lousa, para onde estava desenhada a molécula de água.
Prof.: Qual posição vocês acham que eles devem ocupar? [...]	A professora se dirigiu para os estudantes e ouviu suas sugestões.
Prof.: Vocês acham que o ângulo está bom?	Professora se dirigiu para o trio, orientando-os a darem as mãos. Em seguida novamente se dirigiu para a turma.
Isabela: Não. A Júlia tem que arredar um pouco.	
Carolina: É, juntar um pouco.	Carolina usou gesto de ação, indicando com as mãos a região em que deveriam ficar
Prof.: Tá! Podem fechar um pouquinho // Beleza. Agora vocês vão dar as mãos, para simbolizar as ligações // Podem deixar os braços mais esticadinhos. Isso!	Professora olhou para o trio, enquanto se reposicionavam, e se aproximou solicitando que se afastassem, esticando os braços.

Fonte: autores

Selma se utilizou dos conhecimentos dos estudantes ao solicitar que fizessem sugestões de posicionamento. Em seguida aconteceu seu primeiro comando, orientando o trio para que se posicionasse como se estivessem formando a molécula de água. O segundo comando ocorreu quando ela solicitou que os estudantes dessem as mãos e se afastassem um pouco, para que os braços ficassem mais esticados. Com esses dois comandos ela organizou a representação corporificada. No terceiro comando ela solicitou, por sugestão de um estudante, a correção no ângulo de ligação entre o oxigênio e os hidrogênios.

Em seguida Selma olhou para a posição em que estavam os braços dos estudantes (Figura 9A), questionando-os em relação à polaridade dessas ligações. Para isso, ela se aproximou do trio que fazia a representação, e aconteceu o quarto comando, no qual foi introduzida a força de atração e, portanto, a polaridade da ligação.

Figura 9. Estudantes representando as ligações presentes na molécula de água.



Fonte: imagem desenhada a partir do vídeo.

Apresentamos, a seguir, um fragmento do diálogo que ocorreu nesse momento (Quadro 8):

Quadro 8. Fragmento do diálogo ocorrido no segundo comando da professora Selma.

Transcrição da fala	Características multimodais da ação
Prof.: O Antônio está representando o átomo de oxigênio, não está? O oxigênio é mais eletronegativo. O que ele faz com os elétrons que estão aqui, na ligação?	Professora se aproximou do trio e colocou suas mãos sobre o ponto de encontro das mãos de dois estudantes, dizendo: “aqui”.
Letícia: Ele puxa mais os elétrons.	Letícia olhou para Antônio.
Prof.: Então faz isso.	Professora olhou para Antônio, orientando-o pela fala. Antônio fez o movimento com os braços, desequilibrando levemente uma das meninas.
Prof.: São só os braços que se movem. Elas ficam na posição inicial.	Professora olhou para o trio e, em seguida, para a turma.

Fonte: autores

Ao perguntar “O que ele faz com os elétrons que estão aqui?” (Quadro 8) a professora colocou suas mãos sobre as da dupla de estudantes, mostrando a região onde os elétrons estariam se a força de atração fosse a mesma entre os átomos de oxigênio e os de hidrogênio. Apesar do toque entre os estudantes (verde-claro) já estar acontecendo, é possível perceber que, ao tocar os estudantes na região que representava o par de elétrons compartilhado, a professora teve a clara intenção de comunicar uma ideia (Bezemer & Kress, 2014). O movimento da professora para se aproximar do trio e chamar a atenção para o par de elétrons, ao tocar no ponto em que as mãos se encontravam, classificamos de proxêmica representacional, uma vez que essa movimentação do corpo teve a intenção de destacar a representação.

A intervenção da professora, ao tocar as mãos dos estudantes, foi no sentido de que todos percebessem a região onde o par de elétrons estava sendo compartilhado. Antônio, que representava o átomo de oxigênio, atendeu ao que foi solicitado, puxando esse “par de elétrons” para mais próximo a ele (Figura 9B), uma vez que ele era o mais eletronegativo. Nesse caso, o toque teve um *affordance* específico ao proporcionar a inserção da eletronegatividade na representação. Em seguida, vendo que as estudantes que representavam os hidrogênios se deslocaram um pouco, a professora deu o quinto comando, alertando que elas não poderiam sair do lugar, pois apenas os elétrons são atraídos, o que fez com que elas voltassem para a posição inicial, esticando mais os braços.

Foi após esse momento que a professora inseriu o conceito de forças e tentou fazer com que os estudantes imaginassem a resultante das forças aplicadas nas ligações que formam a molécula de água. No Quadro 9 transcrevemos esse diálogo:

Quadro 9. Fragmento do diálogo em que o conceito de forças foi introduzido.

Transcrição da fala	Características multimodais da ação
Prof.: O parzinho de elétrons está mais próximo do Antônio que é nosso átomo de oxigênio. Se a gente conseguisse medir para onde vai a força que está sendo aplicada, para onde vocês acham que essa força iria?	A professora olhou para a turma e fez um gesto dêitico, apontando para o Antônio, pronunciando o seu nome. Olhou para o trio ao pronunciar “força que está sendo aplicada” e voltou a olhar para a turma, deslocando-se para o meio da sala.
Caio: Pro Antônio.	-
Francisco: Pro Antônio?	-
Prof.: A força que está sendo exercida dentro do sistema, pra onde que essa força está indo?	Professora deslocou-se em direção ao trio e dirigiu o olhar para a turma ao finalizar a pergunta.
Caio: Em direção ao Antônio.	Caio aumenta o volume da voz.
Prof.: Em direção a ele, né? Então a gente tem uma força assim // e uma força assim, né? E se a gente somar essas duas forças, pra onde iria a resultante?	Olhou para o Antônio e faz um gesto de ação, mostrando a direção da força. Passou por baixo da “primeira ligação” e repetiu o movimento para o outro par. Ao pronunciar “essas duas forças”, fez um gesto de descrição figurativa, mostrando as duas forças e olhando para a turma.
Antônio: Aqui pra mim.	Professora se deslocou para o fundo da sala.
Prof.: Mas como assim pra você? // Vocês ainda não aprenderam vetores, né?	Professora olhou para Antônio. Na segunda pergunta ela olhou para a turma.
Júlia: Mais ou menos	-
Francisco: Não, eu não.	-
Prof.: Se a gente pensar que essas forças de atração são vetores ...	Ainda no fundo da sala, fez um gesto dêitico, apontando para os braços dos estudantes que faziam a performance.
Lucas: O que são vetores, gente?	-
Letícia: É tipo assim, eu estou puxando pra cá e ele está puxando para lá. E ele é mais forte.	Estudante fez gesto de ação com o braço esquerdo, mostrando o sentido das forças.
Prof.: Então, com a resultante, é ele que está puxando para lá.	Professora fez gesto dêitico, apontando com o dedo para Antônio.

Fonte: autores

Percebemos que alguns estudantes já estavam pensando em força resultante, ao afirmarem que ela estaria em direção a Antônio. No entanto esse não era um conhecimento compartilhado entre todos, o que fez com que a professora continuasse o questionamento. Ao se aproximar do trio e pronunciar “a gente tem uma força assim” ela fez um gesto de ação, como a mostrar a força atuando do átomo de hidrogênio para o átomo de oxigênio. Em seguida ela passou por baixo dos braços de uma dupla e fez o mesmo gesto com a outra ligação. Isso configura o que chamamos de proxêmica interativa, uma vez que a professora interagiu fisicamente com o trio que fazia a performance, mostrando a ação das forças. A força resultante presente em cada ligação estava, aparentemente, entendida. Portanto o gesto e a proxêmica da professora também potencializaram o entendimento dos estudantes e, assim, também apresentaram *affordances* modais próprios. Após várias participações de estudantes, a professora

inseriu o conceito de vetores, tentando ampliar o entendimento da resultante de forças para o conjunto. Apesar de alguns afirmarem que já haviam entrado em contato com esse conceito, a maioria deles pareceu não entender seu significado.

No momento em que a discussão da resultante de forças mostrava que havia muitas dúvidas, Caio assumiu a palavra, ocorrendo o diálogo descrito no Quadro 10:

Quadro 10. Fragmento do diálogo em que a ideia de força resultante é introduzida.

Transcrição da fala	Características multimodais da ação
Caio: Tipo assim, ó. Puxa um daqui, puxa um dali e a força vem pra cá.	Ao dizer “aqui” Caio apontou para o canto direito da sala e ao dizer “dali” apontou para o outro canto. Finalizou apontando para si – que estava na última fileira, ao meio – o que seria a força resultante.
Prof.: Eu vou fazer a pergunta de uma outra forma. Antônio, se você continuar puxando, seu corpo tende a ir para onde?	Do fundo da sala a professora apontou com o dedo para Antônio.
Antônio: Se elas não saírem do lugar e eu continuar puxando, eu não vou pra frente?	Antônio movimentou a parte superior do corpo para frente.
Prof.: Ninguém sai do lugar. Mas supondo que a ligação arrebentasse...	Professora deslocou-se em direção ao trio.
Antônio: Eu vou para trás. Eu caio.	Antônio olhou para a professora.

Fonte: autores

Ao dizer “puxa um daqui, puxa um dali” Caio assumiu o papel de oxigênio e fez os gestos dêiticos usando os braços para representar as forças. No entanto ele ampliou o espaço físico da representação, usando os cantos direito e esquerdo, da frente da sala, como fonte das forças de cada uma das ligações. Ao pronunciar “a força vem pra cá” ele, usando um gesto de modelagem, ele mostrou a força resultante juntando suas mãos, indicando uma única força que se dirigia para ele. Isso mostrou que o conhecimento presente na representação corporificada, feita pelo trio, estava presente também no que Caio estava comunicando, um forte indício de que a representação corporificada auxiliou no entendimento desse estudante – e possivelmente também no de outros – das forças envolvidas nas ligações químicas e na molécula como um todo, conhecimento esse necessário para o entendimento da polaridade da molécula.

A professora, com a intenção de se certificar desse entendimento, se dirigiu ao trio que fazia a representação, mais especificamente para Antônio, que representava o oxigênio. Os alertas dados pela professora às meninas (que representavam o hidrogênio), no início da representação, de que elas não deveriam sair do lugar ao considerar a eletronegatividade, e de que apenas o par de elétrons (representado pelos braços) poderia se mover, estavam prejudicando o entendimento de Antônio. Quando a professora o autorizou a pensar em movimento, citando a possibilidade de romper a ligação (Quadro 10), Antônio mostrou que também estava considerando corretamente a resultante de forças.

Assim como fez o professor Pedro, ao terminar a performance a professora Selma se dirigiu para a lousa e retomou os desenhos que lá estavam, como a se certificar que os estudantes estavam associando a representação corporificada com a representação que estava desenhada na lousa. A partir desse ponto ela usou o conhecimento de forças envolvidas na ligação para tratar da polaridade de uma molécula.

Também nesse caso a representação corporificada apresentou potencial para produzir entendimentos. Defendemos que as forças presentes nas ligações e a resultante de forças em uma molécula são imprescindíveis para auxiliar os estudantes a identificar a polaridade de uma molécula, e que o conceito de vetor é central para o entendimento dessas forças.

Ao mostrar, por meio de uma representação corporificada, o que era uma ligação química, Pedro construiu conhecimento necessário para entender a polimerização do etileno e a formação do polímero. Selma, por sua vez, construiu conhecimento de forças envolvidas em uma molécula, para mostrar o que leva a classificar moléculas como polares ou apolares.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisamos dois episódios nos quais dois professores organizaram uma representação de entes químicos usando o corpo. Em um deles o professor fez parte da representação, e no outro apenas os estudantes o fizeram. Nosso objetivo foi entender as contribuições/limitações – o que podemos chamar de *affordance* modal – de produzir uma representação usando o corpo. A análise mostrou evidências de que nos dois episódios os estudantes perceberam o comportamento do ente químico nos sujeitos que representavam os átomos e, assim, melhoraram o próprio entendimento em relação ao que estava sendo estudado.

Os dois professores usaram diversos gestos associados à fala, tanto para orientar a representação quanto para explicar o comportamento dos entes representados. Ambos se apoiaram nos desenhos – com os quais haviam identificado problemas de entendimento – ao iniciarem a representação com o corpo, e voltaram a esses desenhos ao término das performances. Além disso, a proxêmica – o posicionamento relativo aos objetos da sala – foi bem explorada, tanto na interação quanto na representação. No segundo episódio foi possível perceber que um dos estudantes usou as paredes da sala de aula ao tratar das forças presentes na molécula de água, aumentando a “dimensão” da representação. Podemos perceber, ainda, que em alguns momentos da representação a alteração no posicionamento dos sujeitos foi importante para que a relação entre a imagem na lousa e a representação com o corpo fossem percebidas como a mesma entidade. Assim, concordamos com Price e Jewitt (2013), ao afirmarem que o posicionamento dos sujeitos oferece diferentes oportunidades de interação.

Observamos também o quanto o olhar contribuiu para a interação entre os sujeitos e para potencializar os gestos. No primeiro episódio houve momentos em que o professor negociou significados ao olhar para o próprio braço, que representava a ligação química entre os dois carbonos. No segundo episódio, a cada vez que a professora falava de ligação ou de forças ela dirigia o olhar para os braços dos estudantes que estavam fazendo a representação, como a indicar do que ela estava falando. Oben e Brône (2015) afirmam que a direção do olhar possui mais do que a função de direcionar atenção. Para eles, o comportamento gestual é alterado pelo comportamento do olhar.

Em relação aos *affordances* destacamos as limitações do desenho na lousa nos dois episódios, uma vez que esses desenhos não estavam sendo suficientes para significar os conceitos trabalhados. Ao inserirem a representação corporificada, outros significados foram sendo construídos pelos estudantes. No primeiro episódio a ligação química entre dois carbonos foi corporificada e, embora o uso do corpo como objeto de aprendizagem não fosse algo rotineiro para esses estudantes, as forças de atração e de repulsão foram “localizadas”, assim como os efeitos que causam nos entes químicos, o que mediou o entendimento da formação de um polímero. No segundo episódio as forças de atração foram, de certa forma, vetorizadas, o que permitiu aos estudantes perceberem uma resultante que os auxiliaria a identificar as moléculas como polares ou apolares. Isso nos leva a argumentar que a representação corporificada tem *affordances*. Elas foram potencializadas pelos outros modos semióticos presentes (gestos, fala, olhar, proxêmica) e foram essenciais no entendimento dos estudantes em relação ao que estava

sendo trabalhado na aula. Os desenhos (ou imagens) na lousa adquiriram movimento pela direção do olhar, pelos gestos, pelo toque ou pelas orientações dos professores e dos colegas. Quando havia uma deficiência de entendimentos do que estava sendo representado pela imagem a corporificação dos entes químicos apresentou *affordances* que auxiliaram nesse entendimento. Consideramos que nossos dados corroboram Tytler et al., (2013) quando defendem que os *affordances* modais produzem significados.

O toque desempenhou um papel semiótico fundamental na construção do significado de ligação. No episódio da polimerização a representação corporificada foi “improvisada” pelo professor, no momento em que percebeu a dificuldade dos estudantes. Pareceu-nos, nesse caso, que o toque teve o papel de um modo semiótico, uma vez que ele fazia parte da representação como um todo. No segundo episódio a professora se valeu do toque em um momento específico da representação para localizar ou indicar a presença do par de elétrons compartilhado. Isso fez com que os estudantes que participavam da representação considerassem a maior atração do oxigênio e movimentassem a região na qual estaria o par de elétrons para mais próximo do estudante que representava o oxigênio. Nesse momento o toque apresenta indícios de ser também um modo semiótico. Ainda que corroborem os estudos de Bezemer e Kress (2014) nossos dados não permitem generalizá-los, o que implica a necessidade de que essas investigações sejam estendidas.

Waldrup e Prain (2013) alertam que não é suficiente o uso de múltiplas representações construídas a partir de variados modos semióticos, enfatizando que é necessário transitar adequadamente entre uma e outra representação para que os significados sejam produzidos. Neste trabalho vimos que os modos gesto, fala, desenho na lousa, proxêmica, olhar e toque foram usados enquanto a representação corporificada acontecia. As transições entre esses diferentes modos aconteceram articuladamente em meio à representação corporal. Nossos dados também mostraram que o emprego de diversas representações por estudantes permite que o raciocínio seja construído de maneira coletiva, conforme defendido por Waldrup e Prain (2013). A presença de um modo não implica em significação, mas a combinação dos modos, em transições que mostram que as diferentes representações usadas tratam do mesmo conceito ou fenômeno, pode contribuir substancialmente para o processo de significação.

Destacamos ainda que a corporificação dos entes químicos também produziu emoções nos estudantes, principalmente no caso da aproximação dos entes químicos na ligação entre os dois carbonos. Ao citar a interpenetração dos orbitais, certa “euforia” prevaleceu por instantes na sala de aula. As transições constantes do olhar durante esse momento foram um indicativo de como sentimentos estão próximos aos significados. O professor precisou chamar os estudantes a voltarem a pensar na ligação química que estava sendo representada. Embora tenha sido uma forma de representar que não era comum para esses estudantes, percebemos fortes indícios de contribuição para a aprendizagem.

As duas performances analisadas mostraram que a construção de significados é mediada pela interação e pela comunicação multimodal dos sujeitos e objetos que compõem a cena da sala de aula. Isso traz implicações para o campo de ensino de Ciências, uma vez que usar o corpo para representar um ente químico se mostrou uma estratégia racional e afetiva no entendimento tanto da ligação química quanto das forças envolvidas em uma ligação. A formação de professores e professoras necessita superar obstáculos epistemológicos e afetivos por meio da mediação ampliada das formas de interação e comunicação, enquanto modos semióticos prevaletentes, as quais ainda permanecem centradas na verbalização e quando muito na imaginação. Entendemos que a performance corporal e a articulação de modos semióticos através dos estudos da multimodalidade podem contribuir para essa superação.

REFERÊNCIAS

- Adami, E. (2016). Multimodality. In O. Garcia, N. Flores, & M. Spotti (Eds.). *Oxford Handbook of Language and Society* (pp. 451-472). Oxford: Oxford University Press.
- Aizawa, A. (2016). *A percepção gestual de licenciandos e a representação estrutural química na perspectiva da multimodalidade*. (Dissertação). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- Aizawa, A., Silva-Neto, A. B., & Giordan, M. (2014). Análise dos modos semióticos de representação estrutural química: categorias emergentes na formação inicial de professores. In T. Galieta, & P. Montanari (Org.). *Linguagens e discursos na educação em ciências* (pp. 375-390). Rio de Janeiro: Luminária Academia/FAPERJ.
- Bessa-Oliveira, M. A. (2019). O Corpo que habito: esse não é o corpo da sala de aula, do museu, nem o corpo da academia! *Revista Científica/FAP*, 21(2), 74-102.
- Bezemer, J., & Kress, G. (2008). Writing in Multimodal texts – A social semiotic account of designs for learning. *Written Communication*, 25(2), 166-195. <http://doi.org/10.1177/0741088307313177>
- Bezemer, J., & Kress, G. (2014). Touch: A resource for making meaning. *Australian Journal of Language & Literacy*, 37(2), 77-85.
- Cordero, K., Nussbaum, M., Ibaseta, V., Otaíza, M. J., & Chiuminatto, P. (2018). Read, write, touch: Co-construction and multiliteracies in a third-grade digital writing exercise. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34, 162-173.
- Danielsson, K. (2016). Modes and meaning in the classroom -The role of different semiotic resources to convey meaning in science classrooms. *Linguistics and Education*, 35, 88-99.
- Gibson, J. J. (1977) The theory of affordances. In J. Gibson. *The Ecological Approach to Visual Perception*. (pp. 119-136). Psychology Press.
- Giordan, M., Silva-Neto, A. B., & Aizawa, A. (2015). Relações entre Gestos e Operações Epistêmicas Mediadas pela Representação Estrutural em Aulas de Química e suas Implicações para a Produção de Significados. *Química Nova na Escola*, 37, 82-94.
- Hall, E. T. (1963). Proxemics: a system for the notation of proxemic behavior. *American Anthropologist*, v. 65, pp. 1003-1026.
- Halliday, M. A. K. (1978). *Language as Social Semiotic*. London: Edward Arnold.
- Halliday, M. A. K. (1985). *As introduction to functional grammar*. London: Baltimore.
- Hao, J., & Hood, S. (2019). Valuing science: The role of language and body language in a health science lecture. *Journal of Pragmatics*, 139(1), 200-215.
- Jewitt, C. (2009). Different approaches to multimodality. In C. Jewitt (Ed.) *The Routledge Handbook of Multimodal Analysis*, (pp 28-39) London: Routledge.
- Kendon, A. (2004). *Gesture: Visible action as utterance*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kress, G. (2009). What is mode? In: Jewitt, C. (Ed.) *The Routledge Handbook of Multimodal Analysis*, (pp. 54-67) London: Routledge.

- Kress, G. (2010). *Multimodality: a social semiotic approach to contemporary communication*. London: Routledge. <http://doi.org/10.1177/1461445612446268b>
- Kress, G., & Leeuwen, T. Van. (1996). *Reading Images: the grammar of visual design*. London & New York: Routledge.
- Lemke, J. L. (1998). Multimedia Literacy Demands of the Scientific Curriculum. *Linguistics and Education*, 10(3), 247–271. [http://doi.org/10.1016/S0898-5898\(99\)00009-1](http://doi.org/10.1016/S0898-5898(99)00009-1)
- Macedônia, M. (2019). Embodied Learning: Why at School the Mind Needs the Body. *Frontiers in Psychology*, 10, 1-8.
- Machado, L., Raggazzi, M., & Guedes, R. (2019). *Ciências*. Belo Horizonte: Bernoulli Sistema de Ensino, 2019.
- McNeill, D. (2005). *Gesture and Thought*. Chicago: University of Chicago Press.
- Moro, L., Mortimer, E. F., & Tiberghien, A. (2019). The use of social semiotic multimodality and joint action theory to describe teaching practices: two cases studies with experienced teachers. *Classroom Discourse*, 11(3), 1-23. DOI: 10.1080/19463014.2019.1570528
- Moro, L., Mortimer, E. F., Quadros, A. L., Coutinho, F. Â., Silva, P. S., Pereira, R. R., & Santos, V. C. (2015). Influência de um terceiro modo semiótico na gesticulação de uma professora de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação*, 15(1), 9-32. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4300>
- Mortimer, E. F., Moro, L., & Sá, E. F. (2018). Referenciais Teóricos utilizados na pesquisa: Discurso, Semiótica Social e Multimodalidade. In E. F. Mortimer, & A. L. Quadros (Eds.). *Multimodalidade no Ensino Superior*. Ed. UNIJUÍ.
- Mortimer, E. F., Quadros, A. L., Silva, A. C. A., Sá, E. F. de, Moro, L., Silva, P. S., Pereira, R. R. (2014). Interações entre Modos Semióticos e a Construção de Significados em Aulas de Ensino Superior. *Ensaio: pesquisa em educação em ciências*, 16(03), 121-145. <http://doi.org/10.1590/1983-21172014160306>
- Mortimer, E. F., Machado, A. H., & Romanelli, L. (2000). A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: Fundamentos e Propostas. *Química Nova*, 23(2), 273-283.
- Norris, S. (2004). *Analyzing multimodal interaction: A methodological framework*. New York: Routledge.
- O'Halloran, K., & Smith, B. A. (2011). Multimodal Studies. In K. O'Halloran, & B. A. Smith (Eds.) *Multimodal Studies: Exploring Issues and Domains* (pp. 1-13), London: Routledge.
- Oben, B., & Brône, G. (2015). What you see is what you do: on the relationship between gaze and gesture in multimodal alignment. *Language and Cognition*, 7(4), 546-562. <http://doi.org/10.1017/langcog.2015.22>
- Oh, P. S., & Kim, K. S. (2013). Pedagogical Transformations of Science Content Knowledge in Korean Elementary Classrooms. *International Journal of Science Education*, 35(9), 1590-1624. <http://doi.org/10.1080/09500693.2012.719246>
- Padilha, J. N., & Carvalho, A. M. P. de. (2011). Relações entre os gestos e as palavras utilizadas durante a argumentação dos alunos em uma aula de conhecimento físico. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 11(2), 25-40.

- Pereira, R. R., Mortimer, E. F., & Moro, L. (2015). Os Gestos Recorrentes e a Multimodalidade em Aulas de Química Orgânica no Ensino Superior. *Química Nova na Escola*, 37(n. esp.), 43-54.
- Piccinini, C., & Martins, I. (2004). Comunicação multimodal na sala de aula de ciências: construindo sentidos com palavras e gestos. *Ensaio: pesquisa em educação em ciências*, 6(1), 26-40.
- Portnoy, E. J. (1982). Non-verbal Communication: Awareness in the Classroom. *American Music Teacher*, 31(4), 14-15.
- Pouw, W. T. J. L., van Gog, T., & Paas, F. (2014). An Embedded and Embodied Cognition Review of Instructional Manipulatives. *Educational Psychology Review*, 26(1), 51-72. <http://doi.org/10.1007/s10648-014-9255-5>
- Prain, V., & Tytler, R. (2022). Theorising Learning in Science Through Integrating Multimodal Representations. *Research in Science Education*, 52(3), 805-817. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10025-7>
- Price, S., & Jewitt, C. (2013). A multimodal approach to examining “embodiment” in tangible learning environments. *Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction – TEI '13*, 43–50. <http://doi.org/10.1145/2460625.2460632>
- Quadros, A. L., & Giordan, M. (2019). Rotas de transição modal e o ensino de representações envolvidas no modelo cinético molecular. *Investigações em Ensino de Ciências*, 24(3), 74-100.
- Sessa, P., & Trivelato, S. L. F. (2013). A construção de significados e as ferramentas culturais em atividades de campo. In *Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (pp. 1-8). Águas de Lindóia.
- Silva-Neto, A. B., Giordan M., & Aizawa, A. (2015) Meaning making with gestures and structural representation media in pre-service teaching. In: J. Lavonen, K. Kalle Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto, & K. Hahl (Eds.). *Science Education Research: Engaging Learners for a Sustainable Future*. (pp. 958-965), Proceedings of ESERA 2015.
- Silva-Neto, A. B., Giordan M., & Aizawa, A. (2016) Análise multimodal sobre a produção de significados: caracterização de recursos e padrões semióticos. In: *Atas do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química*, Florianópolis, 1-12.
- Smith, H. (1979). Nonverbal Communication in Teaching. *Review of Educational Research*, 49(4), 631–672. <http://doi.org/10.3102/00346543049004631>
- Tang, K.-S., Tan, S. C., & Yeo, J. (2011). Students’ Multimodal Construction of the Work-Energy Concept. *International Journal of Science Education*, 33, 1775–1804. <http://doi.org/10.1080/09500693.2010.508899>
- Tytler, R., Prain, V., Hubber, P., & Waldrip, B. (Ed.) (2013). *Constructing representations to learn in science*. The Netherlands: Springer Science & Business Media, http://doi.org/10.1007/978-3-319-16450-2_9
- van Leeuwen, T. (2005). *Introducing Social Semiotics*. Routledge.
- Vigotski, L. S. (2001). *A Construção do Pensamento e da Linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.

Waldrip, B., & Prain, V. (2013). Teacher' initial response to a representational focus. In *Constructing Representations to Learn in Science* (pp. 15–30). The Netherlands: Sense Publishers.

Wilson, R. E., & Bradbury, L. U. (2016). The pedagogical potential of drawing and writing in a primary science multimodal unit. *International Journal of Science Education*, 38(17), 2621-2641. <http://doi.org/10.1080/09500693.2016.1255369>

Yang, J., & Shu, H. (2011). Embodied representation of tool-use action verbs and hand action verbs: Evidence from a tone judgment task. *Neuroscience Letters*, 493(3), 112-115.

Zhang, Y. (2016). Multimodal Teacher Input and Science Learning in a Middle School Sheltered Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(1), 7-30. <http://doi.org/10.1002/tea.21295>

Submetido: 16/03/2023

Preprint: 16/03/2023

Aprovado: 04/02/2024

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Autora 1 – Coleta de dados, análise dos dados e escrita do texto.

Autor 2 – Coleta de dados, análise dos dados e escrita do texto.

Autora 3 – Coordenadora do projeto, participação ativa na análise dos dados e revisão da escrita final.

Autor 4 – Coordenador do projeto, participação ativa na análise dos dados e revisão da escrita final.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram que não há conflito de interesse com o presente artigo.