

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO:
CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL

Maria Luiza Silva Tupy Botelho

**REPRESENTAÇÕES MULTIMODAIS EM AULAS DE CIÊNCIAS/QUÍMICA DA
EDUCAÇÃO BÁSICA: O PAPEL DAS REPRESENTAÇÕES INFORMAIS**

Belo Horizonte
2022

Maria Luiza Silva Tupy Botelho

**REPRESENTAÇÕES MULTIMODAIS EM AULAS DE CIÊNCIAS/QUÍMICA DA
EDUCAÇÃO BÁSICA: O PAPEL DAS REPRESENTAÇÕES INFORMAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação: Conhecimento e Inclusão Social da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Educação.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Luiza de Quadros

Belo Horizonte
2022

B748r
T

Botelho, Maria Luiza Silva Tupy, 1989-
Representações multimodais em aulas de Ciências/Química da
educação básica [manuscrito] : o papel das representações informais /
Maria Luiza Silva Tupy Botelho. - Belo Horizonte, 2022.
193 f. : enc, il., color.

Tese -- (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Faculdade de Educação.

Orientadora: Ana Luiza de Quadros.

Bibliografia: f. 173-180.

Anexos: f. 181-193.

1. Educação -- Teses. 2. Química -- Estudo e ensino -- Teses.
3. Química -- Métodos de ensino -- Teses. 4. Ciência -- Estudo e ensino -
- Teses. 5. Ciência -- Estudo e ensino -- Métodos de ensino -- Teses.
I. Título. II. Quadros, Ana Luiza de, 1963-. III. Universidade Federal
de Minas Gerais, Faculdade de Educação.

CDD- 540.7

Catálogo da fonte: Biblioteca da FaE/UFMG (Setor de referência)

Bibliotecário: Ivanir Fernandes Leandro CRB: MG-002576/O



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
Programa de Pós-Graduação em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

REPRESENTAÇÕES MULTIMODAIS EM AULAS DE CIÊNCIAS/QUÍMICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA: O PAPEL DAS REPRESENTAÇÕES INFORMAIS

MARIA LUIZA SILVA TUPY BOTELHO

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL, como requisito para obtenção do grau de Doutor em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL.

Aprovada em 24 de fevereiro de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Ana Luiza de Quadros - Orientador
UFMG
Prof(a). Marcelo Giordan Santos
USP
Prof(a). Eduardo Fleury Mortimer
UFMG
Prof(a). Orlando Gomes de Aguiar Junior
UFMG
Prof(a). Bruno Ferreira dos Santos
UESB

Belo Horizonte, 04 de março de 2022.

Professora Dra. Rosimar de Fátima Oliveira
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Educação:
Conhecimento e Inclusão Social - FAE/UFMG



Documento assinado eletronicamente por **Rosimar de Fatima Oliveira, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 04/03/2022, às 07:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1287604** e o código CRC **8104CEE7**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus a oportunidade da vida, o privilégio do acesso ao conhecimento e à pesquisa acadêmica.

Agradeço...

à professora Ana Luiza de Quadros, pela orientação, apoio e incentivo ao longo dos últimos anos, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigada pela sua presença e inspiração como educadora!

aos meus pais, que sempre me incentivaram e me apoiaram. Pela educação cuidadosa e amorosa que foi o alicerce que me permitiu conquistar tanto nesta vida. Este título de doutora também é de vocês!

ao meu companheiro de vida, Wellington. Obrigada por caminhar ao meu lado e por encarar meus planos como seus também.

ao meu filho Lucas, por trazer ainda mais amor e luz para minha vida.

a Roberta, que desde sempre é amizade e cumplicidade.

aos meus amigos de vida e profissão, Ariane, Victor, Daniela e Raissa, por juntos compartilharmos ideias, experiências, angústias e ansiedades.

à equipe pedagógica e diretiva do Grupo Fundamental, espaço no qual me encontrei enquanto educadora e me realizo diariamente.

aos estudantes investigados e à professora que de forma generosa abriu sua sala de aula para a produção de dados desta pesquisa.

ao grupo Linguagem e Cognição e aos professores da Faculdade de Educação por todos os momentos de compartilhamento e aprendizagem.

à Capes pelo apoio financeiro.

“A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo da busca. E ensinar e aprender não podem dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria.”

Paulo Freire

RESUMO

Durante o processo de produção do conhecimento científico, nas universidades e grandes centros de pesquisa, o uso de diferentes representações é uma prática recorrente entre os cientistas. Na tentativa de aproximar cada vez mais o ensino e a aprendizagem de Ciências de práticas científicas autênticas, a abordagem de ensino embasada em desafios representacionais, que usa diferentes modos semióticos, mostra-se relevante. Esta pesquisa possui caráter qualitativo e tem como objetivo analisar como a abordagem de ensino baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações contribui para o entendimento de conceitos científicos, assim como analisar como as representações informais, representações não comumente utilizadas em aulas de Ciências e de Química, auxiliam os estudantes na apropriação de representações formais, que se aproximam das representações canônicas e são mais comumente utilizadas. A pesquisa desenvolveu-se em dois contextos escolares distintos: em uma turma do nono ano do Ensino Fundamental e em uma turma do primeiro ano do Ensino Médio. Em ambas as escolas as pesquisadoras acompanharam as aulas de Ciências e de Química por um período de seis meses. Para analisar as contribuições de um trabalho desenvolvido com representações multimodais foi necessário observar e descrever um conjunto de aulas de cada escola, em busca de um entendimento de como os estudantes lidam com as representações multimodais e em que passo as atividades envolvendo representações favorecem a apropriação de conhecimento científico. A abordagem de ensino baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais contribui para o entendimento de conceitos científicos ao passo que insere o estudante em um contexto de construção de conhecimento que se aproxima do processo de produção da própria Ciência. Ao utilizar os desafios representacionais, o professor propicia aos estudantes o acesso progressivo aos conceitos e fundamentos que irão explicar um fenômeno. O uso de representações que se utilizam de diferentes modos semióticos permite a exploração de diferentes aspectos do conceito ou fenômenos e, com isso, o estudante pode ser levado a construir um entendimento mais sólido sobre o conteúdo explorado. Baseadas na análise dos dados, defendemos que o uso de representações informais subsidia a compreensão das representações formais e do conceito ou fenômenos investigados, uma vez que insere outras *affordances* da representação e facilita a identificação de abstrações não percebidas pelos estudantes nas representações formais. Desse modo, além de apresentar outros modos semióticos capazes de auxiliar o processo de compreensão do conceito ou fenômeno, as representações informais auxiliam a elucidar aspectos das representações formais e, conseqüentemente, fortalecem o processo de construção de significado de um conceito ou fenômeno. Os resultados obtidos com esta pesquisa trazem implicações para a prática docente da pesquisadora e para os professores em geral, uma vez que as representações informais se mostraram eficazes para o entendimento das representações formais.

ABSTRACT

During the process of production of scientific knowledge, in universities and large research centers, the use of different representations is a recurrent practice among scientists. In an attempt to increasingly bring the teaching and learning of Sciences closer to authentic scientific practices, the teaching approach based on representational challenges, which uses different semiotic modes, proves to be relevant. The research, in question, has a qualitative character, and aims to analyze how the teaching approach based on proposition, justification, negotiation and re-elaboration of representations contributes to the understanding of scientific concepts, as well as to analyze how informal representations, non-commonly representations used in Science and Chemistry classes, they help students in the appropriation of formal representations, the most commonly used representations, which are close to canonical representations. The research was carried out in two distinct school contexts: in a class from the ninth year of elementary school and in a class from the first year of high school. In both schools, the researchers followed the Science and Chemistry classes for a period of six months. To analyze the contributions of a work developed with multimodal representations, it was necessary to observe and describe a set of classes from each school, in search of an understanding of how students deal with multimodal representations and in what step activities involving representations favor the appropriation of scientific knowledge. The teaching approach based on the proposition, justification, negotiation and re-elaboration of multimodal representations contributes to the understanding of scientific concepts while placing the student in a context of knowledge construction that approximates the production process of Science itself. By using representational challenges, the teacher provides students with access to concepts and fundamentals that will gradually explain a phenomenon. The use of representations that are used in different semiotic ways allows the exploration of different aspects of the concept or phenomena and, with this, the student can be led to build a more solid understanding of the explored content. Based on data analysis, we argue that the use of informal representations supports the understanding of formal representations and the understanding of the concept or phenomena investigated, as it inserts other affordances of representation and facilitates the identification of abstractions not perceived by students in formal representations. Thus, in addition to presenting other semiotic modes capable of helping the process of understanding the concept or phenomenon, informal representations help to elucidate aspects of formal representations, and consequently strengthen the process of constructing the meaning of a concept or phenomenon. The results obtained from this research bring implications for the researcher's teaching practice and for teachers in general, since informal representations proved to be effective for understanding formal representations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES FIGURAS

Figura 01: Média obtida em alguns países no PISA Ciências	23
Figura 02: Construção de um modelo de <i>Sidneyia inexpectans</i> a partir de um fóssil	28
Figura 03: Raciocínio visual por aprimoramento e redução dimensionais para descoberta do motor elétrico	29
Figura 04: Imagem e representações de um cristal	30
Figura 05: Tríades do processo de ensino e de aprendizagem na abordagem de construção de representações multimodais	54
Figura 06: Organização dos grupos no laboratório de Ciências e na sala de aula	70
Figura 07: Organização dos grupos na sala de aula – laboratório	71
Figura 08: Representação de Lewis para a molécula BeCl_2	81
Figura 09: Representação de traços para a molécula BeCl_2	81
Figura 10: Representação de Lewis para a molécula BF_3	82
Figura 11: Representação utilizando esferas e traços para a molécula BF_3	82
Figura 12: Representação de Lewis para a molécula CH_4	83
Figura 13: Representação utilizando esferas e traços para a molécula CH_4	83
Figura 14: Representação de Lewis para a molécula NH_3	83
Figura 15: Representação utilizando esferas e traços para a molécula NH_3	83
Figura 16: Representação utilizando balões para a molécula BF_3	85
Figura 17: Representação utilizando esferas e traços para a molécula BF_3	86
Figura 18: Representação de traço para a molécula CH_2O	87
Figura 19: Representação utilizando balões para a molécula CH_4	89
Figura 20: Representações utilizando esferas e traços para a molécula CH_4	90
Figura 21: Representação utilizando balões para a molécula NH_3	92
Figura 22: Representação para a molécula NH_3	92
Figura 23: Geometria das moléculas analisadas no simulador <i>PhET</i>	94
Figura 24: Representação final da geometria da molécula BF_3 elaborada pelo Grupo 3	94
Figura 25: Representação final da geometria da molécula CH_4 elaborada pelo Grupo 1	94

Figura 26: Representação final da geometria da molécula NH_3 elaborada pelo Grupo 4	95
Figura 27: Representação final da geometria da molécula CH_2O elaborada pelo Grupo 2	95
Figura 28: Representação de Lewis e de traço para a molécula H_2O	97
Figura 29: Representação de Lewis para a molécula H_2O refeita por Lucas	98
Figura 30: Representação de Lewis e de traço para a molécula CH_4	99
Figura 31: Reelaboração da representação de Lewis para a molécula CH_4	100
Figura 32: Ilustração do feixe de água com a proximidade de uma régua atritada .	101
Figura 33: Teatralização da polaridade para a molécula H_2O (momento inicial)	105
Figura 34: Teatralização da polaridade para a molécula H_2O (momento final)	105
Figura 35: Ilustração do experimento de compressão do ar contido dentro de uma seringa	111
Figura 36: Representação do Grupo 5 para o sistema de compressão do ar contido dentro da seringa	112
Figura 37: Ilustração do experimento de aquecimento do erlenmeyer	116
Figura 38: Representação do Grupo 2 para o aquecimento do erlenmeyer	117
Figura 39: Representação do Grupo 1 para o aquecimento do erlenmeyer	118
Figura 40: Representação do Grupo 4 para o aquecimento do erlenmeyer	118
Figura 41: Teatralização das partículas no sistema erlenmeyer e balão antes do aquecimento	120
Figura 42: Teatralização do sistema de partículas do sistema erlenmeyer e balão durante o aquecimento	121
Figura 43: Reelaboração da representação do Grupo 4	124
Figura 44: Ilustração do experimento de dilatação de um líquido	126
Figura 45: Representação inicial do Grupo 2 para a dilatação do líquido no interior do termômetro	127
Figura 46: Representação do Grupo 1 para a dilatação do líquido no interior do termômetro	128
Figura 47: Representação do Grupo 5 para a dilatação do líquido no interior do termômetro	129
Figura 48: Teatralização do sistema de partículas líquidas sem aquecimento	130
Figura 49: Teatralização do sistema de partículas líquidas com aquecimento	130

Figura 50: Representação do Grupo 2 para os estados físicos sólido, líquido e gasoso	133
Figura 51: Representação final do Grupo 5 para a compressão da seringa	135
Figura 52: Representação final do Grupo 1 para o aquecimento do erlenmeyer	135
Figura 53: Representação final do Grupo 6 para a dilatação do líquido no bulbo do termômetro	135
Figura 54: Representação final do Grupo 6 para os três estados físicos	136
Figura 55: Representação do Grupo 4 para a reação química de oxidação do magnésio	138
Figura 56: Representação do Grupo 4 para a reação química entre o ácido clorídrico e o zinco	140
Figura 57: O processo de construção de representações para a geometria da molécula BF_3	143
Figura 58: O processo de construção de representações para a geometria da molécula CH_4	145
Figura 59: O processo de construção de representações para a geometria da molécula NH_3	147
Figura 60: Representações de Lewis e de traço para as moléculas de água e de metano	148
Figura 61: Teatralização utilizada para representação da polaridade da molécula de água	150
Figura 62: Teatralização utilizada para representação da polaridade da molécula de metano	151
Figura 63: Teatralização do fenômeno de compressão do ar contido em uma seringa	155
Figura 64: Teatralização do fenômeno de aquecimento de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado	156
Figura 65: Representação em desenho da difusão de um gás	158
Figura 66: Teatralização do fenômeno de difusão de um gás	159

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADROS

Quadro 01: Relação de modos e recursos semióticos e dos meios de comunicação pelos quais eles são materializados	36
Quadro 02: Descrição das atividades desenvolvidas no conjunto de aulas analisado	79
Quadro 03: Descrição das atividades desenvolvidas no conjunto de aulas analisado	110

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

TABELAS

Tabela 01: Média dos participantes do ENEM nos anos de 2015 a 2019 na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias	25
Tabela 02: Trabalhos encontrados sobre representações multimodais	51

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 01: O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE CIÊNCIAS	17
CAPÍTULO 02: AS REPRESENTAÇÕES MULTIMODAIS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE CIÊNCIAS	27
2.1 A semiótica social e a Multimodalidade	33
2.2 O estudo sociocultural	36
2.3 Conhecendo as representações multimodais	40
2.3.1 Contribuições das representações multimodais para o ensino de Ciências	42
2.3.2 As representações multimodais e os modelos	46
2.3.3 As representações multimodais e o desenvolvimento de raciocínios	48
2.4 Revisão da literatura	50
CAPÍTULO 03: PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA	67
3.1 Questões de pesquisa	67
3.2 O contexto da pesquisa	68
3.3 A proposta de trabalho: a organização com as professoras e o conteúdo	71
3.4 O processo de produção e análise de dados	76
CAPÍTULO 04: DESAFIOS REPRESENTACIONAIS NO ENSINO DE GEOMETRIA E POLARIDADE DAS MOLÉCULAS	79
4.1 Geometria molecular	80
4.2 Polaridade das moléculas	96
CAPÍTULO 05: DESAFIOS REPRESENTACIONAIS NO ENSINO DO MODELO CINÉTICO MOLECULAR	110
5.1 A compressão do ar contido em uma seringa	111
5.2 O aquecimento de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado	116
5.3 A dilatação de um líquido no capilar de um termômetro	125
5.4 Representação dos estados físicos	132
CAPÍTULO 06: QUAL O PAPEL DAS REPRESENTAÇÕES INFORMAIS NOS DESAFIOS REPRESENTACIONAIS?	142
CONSIDERAÇÕES FINAIS – O QUE APRENDEMOS COM A PESQUISA	162
REFERÊNCIAS	173
ANEXOS	182
Anexo 01	182
Anexo 02	185
Anexo 03	190

INTRODUÇÃO

Latour e Woolgar (1997), em seu livro *Vida de Laboratório*, realizaram uma etnografia da prática científica. Os autores experienciaram o cotidiano de um laboratório, a rotina dos cientistas ali presentes e destacaram, ao longo da obra, a diversidade de modos e recursos semióticos empregados pelos cientistas durante a produção e compartilhamento de conhecimento científico. O cientista, assim como qualquer outro ator social, utiliza estratégias persuasivas que visam garantir a aceitação dos enunciados por ele produzidos. Essas estratégias se utilizam de diferentes modos e recursos semióticos durante o processo de produção e de comunicação do conhecimento.

Durante o processo de construção do conhecimento científico, nas universidades e grandes centros de pesquisa, o uso de diferentes representações é uma prática recorrente entre os cientistas. Isso acontece também na comunicação de descobertas à comunidade científica, uma vez que os pesquisadores normalmente combinam textos com expressões matemáticas, gráficos, tabelas, diagramas, mapas, desenhos, fotografias, ou seja, os cientistas recorrem a inúmeros modos semióticos no desenvolvimento e divulgação dos resultados de suas pesquisas. Dessa forma, podemos dizer que a Ciência é comunicada por meio de **representações multimodais** (TYTLER *et al.*, 2013a).

Gooding (2010) investigou como o aprimoramento de imagens, modelos e a integração de recursos linguísticos e matemáticos às ferramentas visuais durante a dinâmica de construção do conhecimento científico contribuem para o processo de evolução da Ciência. Gooding (2004) reafirma que as representações multimodais não são utilizadas apenas para o processo de comunicação entre os pares de uma comunidade científica. Ao estudar os rascunhos de Faraday, Gooding (2004) mostrou que essa prática também é utilizada para organizar os achados do cientista, assunto que tratamos no Capítulo 02 – As representações multimodais no processo de ensino e aprendizagem de Ciências.

Prain e Tytler (2013) investigaram a utilização de representações multimodais em aulas de Ciências e exploraram a proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações em diferentes contextos educacionais. Considerando o ambiente escolar e as aulas de Ciências, especificamente, como um espaço privilegiado para que o entendimento do mundo físico aconteça, a construção e

reformulação de representações, usadas pelos cientistas para organizar o próprio raciocínio, também podem ser usadas para aprender Ciência. Na tentativa de aproximar cada vez mais o ensino e a aprendizagem de Ciências de práticas científicas autênticas, a abordagem de ensino embasada na construção, justificação, negociação e reelaboração de representações, a partir de diferentes modos semióticos, tem se mostrado relevante.

Nossa experiência tem mostrado que o ato de representar conceitos e modelos científicos vem sendo usado de maneira periférica e, algumas vezes, como uma atividade trivial, na qual é fornecida ao estudante uma tarefa a mais: realizar a representação. Em alguns casos é comum a expressão “para enxergar melhor”, como se a representação tivesse apenas essa função visual. Sabemos que representar é uma habilidade importante para um indivíduo no processo de ensino e aprendizagem de Ciências, conforme abordamos no Capítulo 02 – As representações multimodais no processo de ensino e aprendizagem de Ciências. Com base nesse entendimento do papel da representação no processo de construção do conhecimento científico e também no processo de apropriação desse conhecimento no ambiente escolar, a pesquisa em questão tem como objetivo investigar as contribuições de um trabalho desenvolvido usando a construção de representações multimodais em aulas de Química e de Ciências da Educação Básica para o entendimento de conceitos científicos.

Para a construção das questões de pesquisa que nortearam esta tese partimos da hipótese de que a inserção de representações informais, não comumente utilizadas em aulas de Ciências e Química da Educação Básica, favorece o processo de construção de representações formais, aquelas mais presentes nas aulas, nos materiais didáticos e em livros/artigos, contribuindo para o processo de aquisição de conceitos científicos e de entendimento de fenômenos.

Dessa forma, como questão principal de pesquisa, buscamos compreender “Como a abordagem de ensino baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações contribui para o entendimento de conceitos científicos.”

As questões específicas de pesquisa surgem para auxiliar na busca de uma resposta para a questão principal:

- Como os estudantes utilizam a linguagem e outros modos semióticos para mediar o processo de comunicação entre os pares durante a construção de representações multimodais?
- Como o questionamento adequado das professoras serve como mediação entre aquilo que os estudantes propõem e a forma canônica de representar conceitos e fenômenos científicos?
- Como as representações informais, não comumente utilizadas em aulas de Ciências e de Química, auxiliam os estudantes na apropriação de representações formais?
- Quais as contribuições das representações multimodais para a apropriação dos conceitos científicos pelos estudantes?

Passamos agora a explicitar a organização do texto que relata a pesquisa que desenvolvemos. No Capítulo 01 fazemos uma breve discussão sobre o processo de ensino e aprendizagem de Ciências, justificando a nossa opção em termos de pesquisa, ou seja, o problema que nos levou a desenvolver a pesquisa aqui relatada. No Capítulo 02 apresentamos o referencial teórico que trata da abordagem de ensino embasada na construção, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais, citando os teóricos que propuseram essa abordagem ou que realizaram estudos envolvendo as Representações Multimodais. Realizamos, também, uma revisão na literatura, nacional e estrangeira, com o intuito de conhecer os trabalhos publicados sobre o tema em questão.

No Capítulo 03 relatamos o percurso metodológico desta pesquisa e retomamos as questões que nortearam esta investigação. Caracterizamos os sujeitos participantes da pesquisa e os contextos nos quais estão inseridos, e explicitamos como se deu o processo de produção e de análise de dados. Nos capítulos 04 e 05 apresentamos a análise dos dados levantados nos dois ambientes escolares investigados: em uma turma de nono ano do Ensino Fundamental e em uma turma do primeiro ano do Ensino Médio, respectivamente.

No Capítulo 06 apresentamos uma análise da orquestração de representações informais e formais nas atividades envolvendo desafios representacionais, e analisamos como as representações informais auxiliaram os estudantes na apropriação de representações formais. Por fim, registramos as considerações finais, respondendo às questões que nortearam esta pesquisa.

CAPÍTULO 01: O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE CIÊNCIAS

Os pressupostos construtivistas nos auxiliaram a entender que transmitir informações não garante o entendimento do que está sendo transmitido e que o conhecimento é mais facilmente construído pela participação ativa dos estudantes. Apesar de o construtivismo defendido por Jean Piaget ter gerado inúmeras correntes diferentes, há pelo menos duas características principais que são compartilhadas por pesquisadores na área de Ensino de Ciências inseridos ao menos em uma dessas correntes: a aprendizagem se dá por meio do ativo envolvimento dos estudantes na construção do conhecimento, e as ideias prévias dos estudantes desempenham um papel importante no processo de aprendizagem. O processo de ensino e aprendizagem, a partir dessa perspectiva, requer atividades que desafiem as concepções prévias¹ dos estudantes e que tenham relação com suas vivências, de modo que eles possam recorrer a seus conhecimentos informais para interagir com o conhecimento científico e, a partir dessa interação, construir entendimentos significados envolvendo o objeto de aprendizagem (DRIVER *et al.*, 1999).

Apesar de Piaget não se auto intitular construtivista – denominação que surgiu mais tarde –, a perspectiva de que o conhecimento é construído pelo sujeito é central em seus estudos. Em termos gerais, Piaget postulou a existência de esquemas cognitivos que são formados e desenvolvidos por meio das ações de um indivíduo sobre os objetos do mundo, em um processo de coordenação e internalização. Novos esquemas surgem da modificação dos antigos, e assim o desenvolvimento intelectual é visto como uma adaptação progressiva entre os esquemas cognitivos individuais e o ambiente físico (PIAGET, 1970).

Em adição à perspectiva de Piaget sobre a construção do conhecimento, o sociointeracionismo, que tem Vigotski como principal representante, reconhece que a aprendizagem envolve a introdução em um mundo simbólico. De acordo com essa corrente filosófica, o conhecimento é construído quando os indivíduos se engajam socialmente em diálogos e atividades relacionadas a problemas e tarefas relevantes em seu contexto de vida, e a aprendizagem é oportunizada em um processo no qual os indivíduos são introduzidos em uma cultura por seus membros mais experientes. No ambiente escolar o professor representa essa experiência. Na medida em que isso

¹ **Concepções prévias:** ideias pré concebidas dos estudantes sobre tema ou conceito, antes de uma instrução formal

acontece, os estudantes se apropriam das ferramentas culturais por meio de seu envolvimento nas atividades dessa cultura. Embora a aprendizagem de conhecimentos científicos envolva interações sociais, no sentido de que as ferramentas culturais da Ciência precisam ser apresentadas, discutidas e aceitas pelos estudantes, acreditamos que esses sujeitos tendem interagir melhor com essas ferramentas se construírem de forma pessoal as representações para os fenômenos naturais que observam. Entretanto, se as representações cotidianas de certos fenômenos naturais forem muito diferentes das representações canônicas, a aprendizagem pode exigir uma organização mais elaborada das atividades. De acordo com o sociointeracionismo a sala de aula é percebida como um ambiente no qual se desenvolve um processo essencialmente dialógico, em que múltiplas vozes são articuladas: primeiro no plano social (interpsicológico) e, em seguida, no plano individual (intrapsicológico). Portanto, essa aprendizagem depende das interações sociais e tem um caráter individual, uma vez que o sujeito aprendiz pode ou não se apropriar de uma explicação que circula no plano coletivo da sala de aula.

Embora a discussão em torno da aprendizagem do conhecimento científico seja primordial, a presença da Ciência no currículo escolar já foi motivo de amplos debates em vários países. A título de exemplo, na década de 1990 a disciplina de Ciências tornou-se assunto central no currículo nacional do Reino Unido. Havia um consenso que crianças e jovens, dos 5 aos 16 anos, deveriam estudar Ciências. Na comunidade especializada, entre as vozes que discordavam do papel relevante do ensino de Ciências, Chapman (1994) escreveu sobre a oferta excessiva de educação científica na época, contestando a validade dos argumentos dessa educação ao longo dos anos de escolarização. Grande parte dessa insatisfação era decorrente de evidências mundiais de que pouco conhecimento científico estava de fato sendo assimilado e compreendido pela maior parte dos estudantes. Da mesma maneira, Millar (2003) reconhecia que os estudantes da Educação Básica não possuíam uma base sólida de conceitos científicos e não apresentavam um entendimento de ideias básicas da Ciência.

Os apontamentos de Millar (2003) em relação ao contexto britânico na década de 1990, apesar de ser aquele um contexto completamente diferente do brasileiro, são válidos para o nosso cenário educacional atual. Assim como Millar (2003), acreditamos que a pouca eficiência do ensino de Ciências seja uma consequência do currículo oferecido, geralmente carregado de conteúdos que são tratados

superficialmente. A Ciência escolar desenvolvida na Educação Básica, ofertada atualmente na maior parte das instituições, tem sido considerada distante do que os estudantes precisam e gostariam de aprender. O currículo escolar brasileiro tem passado por algumas reformulações nos últimos 30 anos, promovidas, por exemplo, pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1998a) e, mais recentemente, pela Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2017). Apesar das orientações presentes nesses documentos, a estrutura curricular sofreu poucas alterações. Ainda há uma ênfase na quantidade de conteúdo em detrimento da qualidade, centralizando o processo no professor e na transmissão organizada de informações. Isso tem levado os estudantes a usarem estratégias de memorização de fórmulas e de conceitos para serem bem-sucedidos nas avaliações. De uma forma geral, há pouca atenção para o tempo necessário para a exploração e apropriação de conceitos por parte dos estudantes.

Mesmo diante da pouca eficiência do ensino de Ciências no Reino Unido, condição essa que pode ser ampliada para o nosso contexto, Millar (2003) argumenta que todos os cidadãos têm o direito de aprender Ciências, e explicita três motivos pelos quais o ensino de Ciências é importante para a formação cidadã, o que justificaria a presença dessa disciplina no currículo da Educação Básica. O primeiro argumento defende que ao estudar Ciências é possível aprender o comportamento do mundo natural, desenvolver habilidades e discutir conceitos e fenômenos que não estão presentes em outras áreas do conhecimento. O segundo fomenta que o entendimento do mundo natural não é possível de ser adquirido informalmente, já que as ideias científicas, em muitos momentos, são contrárias ao senso comum, e não são adquiridas com experiência de vida. Dessa forma, o ambiente escolar é o espaço propício para que a compreensão de conceitos e fenômenos naturais aconteça. E finalmente, o terceiro argumento defende a importância e o valor do aprendizado de Ciência, mostrando que ela faz parte da nossa cultura e nela cumpre papel determinante.

Ao desconstruir alguns argumentos vigentes na época, Millar (2003) reforça que a Ciência é a principal aquisição de nossa sociedade e que ela é formadora da nossa cultura. Isso o leva a defender que todas as crianças e jovens têm o direito de compreendê-la e de apreciá-la. Nesse sentido, ele evidencia três aspectos para essa compreensão: o conteúdo científico, os métodos de investigação utilizados na Ciência e a compreensão da Ciência como um empreendimento social e cultural.

Como conteúdo científico Millar (2003) defende a seleção de alguns conceitos básicos que auxiliem o estudante a tornar-se mais capacitado a interagir com o mundo material e a compreender alguns modelos mentais relacionados ao comportamento do mundo natural, sem sobrecarregar o currículo. Em relação aos métodos de investigação usados em Ciências, o autor defende a necessidade de explicitar que a função da Ciência é gerar explicações para o mundo físico que auxiliem no entendimento de fenômenos observados. Quanto à compreensão da Ciência como um empreendimento social e cultural, Millar (2003) ressalta que o currículo poderia promover oportunidades para que o estudante conheça melhor o trabalho científico real, os processos pelos quais um novo conhecimento científico é produzido, a partilha de ideias entre grupos de cientistas, os processos de revisões investigativas e, ainda, a reprodução e verificação de resultados inesperados.

Apesar de Millar (2003) investigar um contexto completamente diferente do brasileiro, acreditamos que os apontamentos feitos por ele são coerentes com a nossa realidade e algumas de suas indicações relacionadas ao Ensino de Ciências são pertinentes e deveriam ser consideradas em nosso contexto, como um currículo de Ciências mais voltado para o entendimento do mundo físico, oportunizando a apropriação de conceitos e ideias que auxiliem os estudantes a fazer uma leitura crítica e consciente de temas relevantes para sua vivência.

Tendo como base a necessidade de o currículo de Ciências possibilitar aos estudantes conhecer o processo de construção do conhecimento, Fourez (2003) questiona se a Ciência escolar deve envolver apenas o estudo de modelos canônicos ou se deve ampliar o olhar dos estudantes e abordar questões próprias de seu cotidiano. É consensual que o universo de produção científica é distante da cultura popular e pouco conhecido pelas pessoas em geral. Porém, nas salas de aula de Ciências, onde o objetivo é a formação científica dos estudantes e não apenas a transmissão de resultados acumulados pela Ciência, algumas competências básicas podem ser trabalhadas, dentre as quais destacamos a compreensão do mundo material e a construção de representações de situações concretas, assim como o ato de questionar essas representações, confrontando-as tanto com a experiência quanto com os modelos canônicos.

Para compreender e construir explicações para o mundo material e os fenômenos físicos que ocorrem ao nosso redor, a Ciência apropria-se de entidades submicroscópicas (átomos, elétrons, íons, moléculas etc.) que só podem ser

“imaginadas” (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 2000). Nesse sentido, as representações dessas entidades são fundamentais tanto para o professor quanto para o estudante. Portanto, argumentamos que pensar o mundo submicroscópico da Ciência está diretamente relacionado a saber representar as entidades que permeiam esse universo. É indicado que essas representações, que fazem parte da rotina de construção de conhecimento dos cientistas, sejam amplamente usadas em sala de aula para que nossos estudantes possam aprender a pensar quimicamente o mundo físico e material (QUADROS, 2020).

Com o intuito de possibilitar que o processo de ensino e aprendizagem de Ciências fomente uma compreensão do mundo material e dos fenômenos físicos que ocorrem ao nosso redor, proporcionando uma aprendizagem que faça sentido e tenha valor para os estudantes, algumas tendências passaram a ser mais valorizadas na literatura, geralmente denominadas tendências contemporâneas de ensino e aprendizagem. Elas representam, portanto, os focos de discussão atual em torno do ensinar e aprender, principalmente no campo das Ciências Naturais. Apesar de serem inúmeras as tendências em discussão, vamos destacar aquelas mais abordadas na área de ensino de Ciências e com as quais temos tido um contato maior: a abordagem comunicativa, proposta por Mortimer e Scott (2003); o ensino por temas a partir de pressupostos do movimento CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade (SANTOS; MORTIMER, 2002; QUADROS, 2004; DE JONG, 2008; QUADROS, 2010); as concepções que o professor possui sobre a natureza do conhecimento (PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007); a investigação no ensino de Ciências (SASSERON; CARVALHO, 2008; CARVALHO, 2013); o papel da experimentação (GIORDAN, 1999) e o da leitura no ensino de Química (TEIXEIRA JÚNIOR; SILVA, 2007); a utilização de modelos no ensino de Química (FERREIRA; JUSTI, 2008); as concepções prévias (DRIVER, 1989) e o perfil conceitual (MORTIMER, 1995).

Nossa experiência no contexto de aulas regulares de Ciências e de Química nos permite afirmar que essas tendências contemporâneas de ensino e aprendizagem possibilitam abordar o conteúdo curricular em contextos socialmente relevantes, valorizar as concepções prévias dos estudantes e aproximá-los de práticas científicas autênticas. Porém, em muitos momentos, a utilização dessas abordagens contemporâneas de ensino tem sido limitada em função de alguns entraves, dentre os quais destacamos: a carga horária destinada às disciplinas de Ciências e de Química, a ausência de espaço adequado para a realização de experimentos, o número

expressivo de estudantes em sala de aula, a quantidade de conteúdo curricular geralmente abordado ao longo das aulas, e as questões inerentes à formação dos professores.

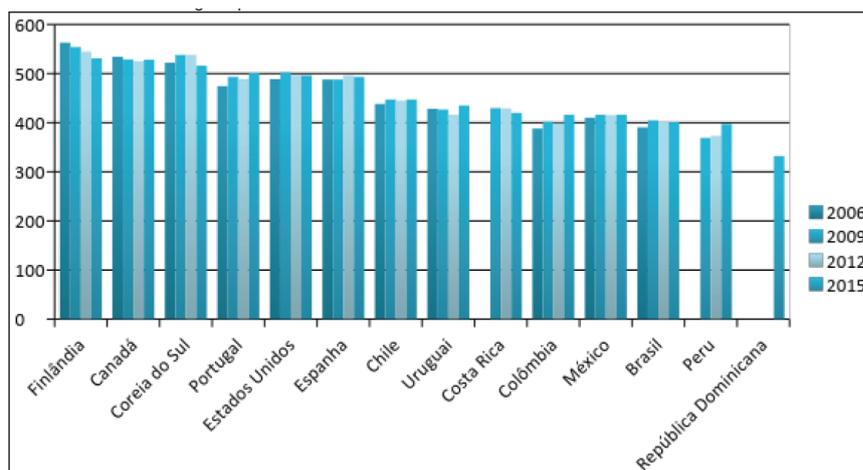
Sabemos que, por várias décadas, o vestibular influenciou na grade curricular de disciplinas do campo das Ciências da Natureza, pois era enorme a lista de conteúdos que poderiam ser abordados pelas questões, o que exercia certa pressão sobre o trabalho dos professores em sala de aula. Muitos professores se sentiam compelidos a desenvolver uma grande quantidade de conteúdo e, para isso, nem sempre era possível destinar um tempo adequado a cada um deles. Em 1998 foi criado o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), por meio da Portaria n. 438 (BRASIL, 1998b), como meio de avaliação do Ensino Médio. Em 2010, com a criação do Sistema de Seleção Unificada (SISU), o ENEM passou a ser usado como forma de seleção para o Ensino Superior, substituindo o antigo vestibular. Porém, a matriz de referência continua a ser ampla e, apesar de focar competências e habilidades, os professores continuam a perceber uma ênfase na quantidade de conteúdo. Com isso, uma escola pública que disponibiliza duas aulas semanais de Química, por exemplo, dificilmente será capaz de oferecer a mesma quantidade de conteúdo que uma escola privada que dispõe de quatro a cinco aulas semanais será capaz de oferecer. Ao investigar possíveis tendências de professores em formação ao assumirem a docência, Pena (2016) afirma que há um grande conflito entre se apropriar de tendências contemporâneas de ensino e aprendizagem e ser conteudista. Os exames de seleção, segundo essa pesquisadora, sempre são usados como justificativa para trabalhar uma grande quantidade de conteúdos. Pesquisadores têm alertado para a pouca aprendizagem resultante das aulas de Ciências, cuja causa mais provável está relacionada a uma opção por grandes quantidades de conteúdo, em detrimento da qualidade do que é desenvolvido em aula.

Nosso envolvimento com estudos da área educacional e com a rotina em escolas de Educação Básica nos mostra que é altamente indicado que o professor faça uma seleção de conteúdos que contribuam na compreensão de conceitos fundantes e que irão auxiliar os estudantes no entendimento do mundo submicroscópico da Ciência e de suas representações, a exemplo do conteúdo do Modelo Cinético Molecular, que traz uma base para o entendimento de outros conteúdos como quantidade de matéria e transformações. Tão relevante quanto a escolha de conteúdos básicos é a explicitação de que o papel da Ciência é gerar

explicações sobre o mundo físico, o que auxilia no entendimento de fenômenos observados, e propicia a discussão dessa Ciência como um construto sociocultural. Nesse contexto, a abordagem de ensino embasada na construção e interpretação de representações possibilita um envolvimento do estudante na construção de ideias centrais da Ciência, a partir de diferentes formas de representar um conceito e/ou fenômeno, e traz para a discussão o processo de construção do conhecimento científico.

Fialho e Mendonça (2020) realizaram uma revisão de literatura seguida da análise de documentos oficiais a partir de dados do Programa Internacional de Avaliação de Alunos (Pisa²) e do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), em relação aos resultados do Pisa para a aprendizagem de Ciências nos anos finais do Ensino Fundamental, entre 2006 e 2015. Nesse período os conhecimentos foram avaliados a cada três anos, sendo que a área de Ciências foi prioritária nos anos de 2006 e 2015. A Figura 01 traz um gráfico da média de alguns países para os resultados de Ciências.

Figura 01: Média obtida em alguns países no PISA Ciências



Fonte: Fialho e Mendonça, 2020, p. 10.

Na Figura 01 é possível observar a posição do Brasil, em 2006, em comparação com alguns outros países. Fialho e Mendonça (2020, p. 10) alertam que:

o Brasil ocupou a posição de 52º lugar, entre os 57 países participantes, permanecendo na frente apenas da Colômbia (53º lugar), quando comparamos aos vizinhos sul-americanos que possuem condições socioeconômicas semelhantes à brasileira.

² Programa de avaliação comparada da aprendizagem de alunos, criado por países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), em 1997.

Em 2015 o Brasil passou para 63ª posição, mantendo-se muito abaixo do que é considerado satisfatório pela OCDE. Embora a média de proficiência do Brasil tenha aumentado ligeiramente entre 2015 (401) e 2018 (404), essa diferença não é significativa. Com esses resultados, alguns analistas têm considerado que o Brasil não tem avançado em termos de aprendizagem em Ciências desde 2009.

Voltamos nosso olhar, agora, para os resultados, em termos de notas, obtidos por jovens recém-egressos da Educação Básica no ENEM, exame que avalia a Educação Básica e também é utilizado como processo seletivo para ingresso no Ensino Superior na rede pública e privada. O exame contempla questões objetivas de múltipla escolha relacionadas às seguintes áreas do conhecimento: Ciências Humanas e suas Tecnologias; Ciências da Natureza e suas Tecnologias; Linguagens, Códigos e suas Tecnologias; Matemática e suas Tecnologias; e uma redação com tema da atualidade. A avaliação de cada área do conhecimento tem valor de mil pontos. As avaliações são analisadas com base no método Teoria de Resposta ao Item (TRI). Trata-se de um sistema de inteligência do qual se espera uma correção da avaliação de forma mais coerente em termos pedagógicos. Esse sistema é capaz de analisar as questões que o estudante respondeu corretamente e dar um peso específico para cada acerto. As perguntas do exame são divididas previamente em grupos, de acordo com o grau de dificuldade (fácil, médio e difícil), e distribuídas ao longo da avaliação. Através de estatísticas, a TRI analisa as respostas do participante e gera uma nota com base nos acertos e erros, em relação às questões de diferentes níveis de dificuldade, o que significa que um estudante que tenha acertado cinco questões de nível fácil não irá receber a mesma pontuação de um outro estudante que tenha acertado cinco questões de nível médio ou difícil, em uma dada avaliação.

O INEP é responsável, também, pela coleta, análise e divulgação das notas dos estudantes no ENEM. A Tabela 01 explicita os valores numéricos referentes às médias de notas dos participantes na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, entre os anos de 2015 e 2019. O valor da avaliação em cada área do conhecimento é de mil pontos.

Tabela 01: Média dos participantes do ENEM nos anos de 2015 a 2019 na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Ano de aplicação do exame	Médias das notas dos participantes
2019	477,8
2018	493,8
2017	477,1
2016	510,6
2015	505,3

Fonte: Microdados do ENEM 2015-2019 (Inep, 2015-2019)

Nos últimos cinco anos os resultados dos estudantes na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias estiveram próximos a 50% de aproveitamento da avaliação e, como pode ser visto na Tabela 1, apenas nos anos de 2015 e de 2016 a média nacional ultrapassou, ainda que timidamente, essa marca. De uma forma geral podemos afirmar que nos últimos cinco anos a média permaneceu quase inalterada, com pequenas variações.

Ainda que estejamos em contexto muito diferente daquele em que Millar (2003) desenvolveu sua pesquisa, ressaltamos que, com base nos resultados do PISA e do ENEM nos últimos anos, os estudantes brasileiros têm um desempenho na área de Ciências muito abaixo do que seria esperado de um processo de escolarização. Sabemos que são inúmeros os motivos que podem ter contribuído para esse baixo desempenho, mas entendemos que é urgente um investimento massivo em educação e, no caso do Brasil, não há dúvida de que ele deveria se dar na educação pública. Apenas com esse investimento será possível melhorar a precária infraestrutura de escolas, valorizar quantitativamente o salário dos profissionais da educação e fortalecer a formação dos professores.

Levando em conta que em muitas salas de aula de Ciências o ensino ainda é pautado na simples transmissão de informações, sem uma atenção maior para como essas informações são significadas pelos estudantes, é urgente que algumas tendências contemporâneas de ensino, tão em voga nos discursos que tratam da educação, transformem-se em práticas diárias dos professores.

Nesse contexto, consideramos que as representações multimodais usadas neste trabalho têm potencial para engajar os estudantes no processo de ensino e aprendizagem de Ciências, por terem como foco a construção, o compartilhamento, a negociação e a reelaboração de representações, a partir de diferentes modos semióticos, para os conceitos científicos e os fenômenos da natureza. Segundo Hubber, Tytler e Haslam (2010), dadas as preocupações atuais quanto ao engajamento dos estudantes na aprendizagem de Ciência e o sucesso relativamente limitado das abordagens pedagógicas baseadas apenas no caráter cognitivo da aprendizagem, as representações multimodais significam uma agenda que necessita de investimento em termos de pesquisa e política educacional.

De uma maneira geral podemos afirmar que as representações são ferramentas facilitadoras dos processos de ensino e aprendizagem de Ciências. Por esse motivo, voltamos o nosso olhar para o significado de Representações Multimodais e, em seguida, para as contribuições do uso de representações multimodais em aulas da Educação Básica, foco de nossa investigação.

CAPÍTULO 02: AS REPRESENTAÇÕES MULTIMODAIS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE CIÊNCIAS

Em laboratórios e centros de pesquisas, faz parte da práxis dos cientistas eles se informarem sobre o que tem sido publicado e discutido em relação ao tema de interesse, antes de iniciar uma nova investigação e ao longo de toda investigação. Isso ocorre por meio de leituras de livros e artigos científicos, e pelo compartilhamento entre os pares em eventos e congressos. Essa estratégia se torna essencial no desenvolvimento de pesquisas mais avançadas, uma vez que aumenta as chances de trazer progressos na área de investigação. Uma pesquisa é realizada a partir de diferentes propósitos, entre os quais avançar no conhecimento de determinada área, produzir conhecimento que gere novas tecnologias, auxiliar na resolução de um problema, fornecer dados que facilitem a produção industrial e, também, gerar novos artefatos tecnológicos tendo como objetivo, em alguns casos, apenas a obtenção de lucro comercial, e que em outros está associado ao bem-estar social. Dada a complexidade em que se encontra a pesquisa científica, para que ela progrida é essencial a comunicação/discussão dos resultados. Esse compartilhamento de informações é função tão relevante no cotidiano de um cientista como o trabalho experimental em si (LATOURE; WOOLGAR, 1997).

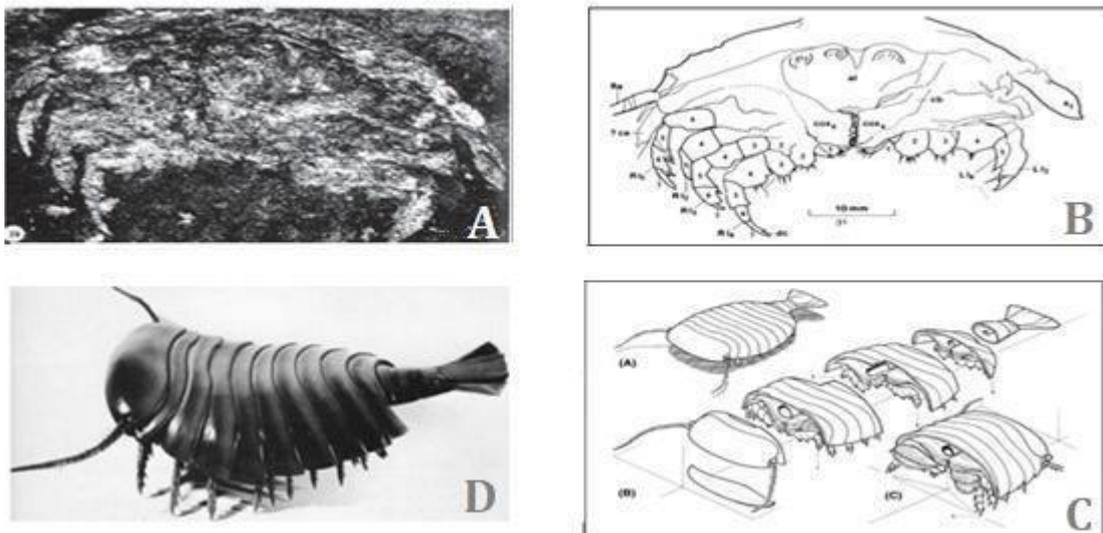
Latour e Woolgar (1997), em seu livro *Vida de Laboratório*, realizaram uma etnografia da prática científica. Os autores experienciaram o cotidiano de um laboratório, a rotina dos cientistas ali presentes, e destacaram, ao longo da obra, a diversidade de modos e recursos semióticos empregados pelos cientistas durante a produção e compartilhamento do conhecimento científico. O cientista, assim como qualquer outro ator social, utiliza estratégias persuasivas que visam garantir a aceitação dos enunciados por ele produzidos. Essas estratégias se valem de diferentes modos e recursos semióticos durante o processo de produção e de comunicação do conhecimento.

Gooding (2006) defende que algumas descobertas científicas servem como uma importante fonte de informações sobre o papel de diferentes modos semióticos no processo cognitivo. De acordo com o autor, os modos visuais de representação são essenciais para a geração, comunicação e divulgação de novos conhecimentos. Nesse trabalho, ele apresenta estratégias de visualização por meio das quais cientistas de diferentes áreas manipulam a dimensionalidade das imagens com o

objetivo de transitar entre representações locais (relatos de experimentos), pessoais (esboços e desenhos de processos) e imagens canônicas. Essa estratégia de manipulação de imagens demonstra como o *status* cognitivo das imagens visuais muda à medida que os cientistas integram novas representações em seus argumentos.

Em um de seus relatos, Gooding (2010) aborda a reconstrução do fóssil de um artrópode, o *Sidneyia inexpectans*, encontrado em rochas sedimentares. Seu estudo mostra que paleontologistas criam sugestões de estruturas usando esboços, diagramas e desenhos, manipulando modelos físicos para produzir novas imagens. Ao explicar o processo de reconstrução de um fóssil, um investigador relata que normalmente são encontradas amostras em diferentes orientações e seu trabalho inclui criar imagens mentais e físicas que as reposicionem em um formato que seja plausível. Na Figura 02 há uma imagem de um fóssil (A), a partir da qual foram desenhadas o que seriam as partes do animal fossilizado (B) e montadas as estruturas a partir do desenho (C). A sequência de representações permitiu a elaboração de um modelo do artrópode fossilizado (D).

Figura 02: Construção de um modelo de *Sidneyia inexpectans* a partir de um fóssil



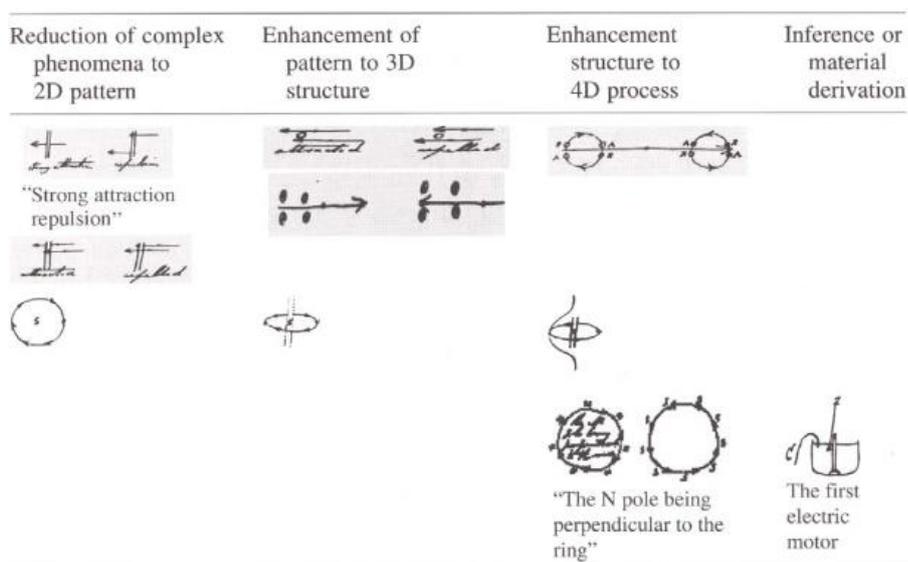
Fonte: Gooding (2010, p. 5-9)

A partir desses “experimentos visuais” as imagens vão sendo substituídas por modelos de estruturas que representam a morfologia do organismo, sempre em um processo de construção e reconstrução, até atingir a estrutura considerada mais plausível (GOODING, 2004). No caso desse fóssil, como podemos perceber por meio do estudo de Gooding (2010), a estrutura foi proposta a partir de uma série de representações.

Gooding (2004) investigou os rascunhos que Michael Faraday produzia em seu trabalho no laboratório, manuscritos esses cedidos pela família do cientista, e observou que as representações eram modificadas conforme suas ideias evoluíam. Segundo o autor, esses manuscritos eram compostos por uma alternância de esboços, diagramas e textos, e que é perceptível um padrão de raciocínio visual por aprimoramento e redução dimensional em suas representações.

A Figura 03 apresenta um desses rascunhos de Faraday com uma sequência de esboços de padrões de orientação de uma agulha ao redor de um fio, em que cada esboço incorpora e resume um conjunto complexo de operações e observações.

Figura 03: Raciocínio visual por aprimoramento e redução dimensionais para descoberta do motor elétrico

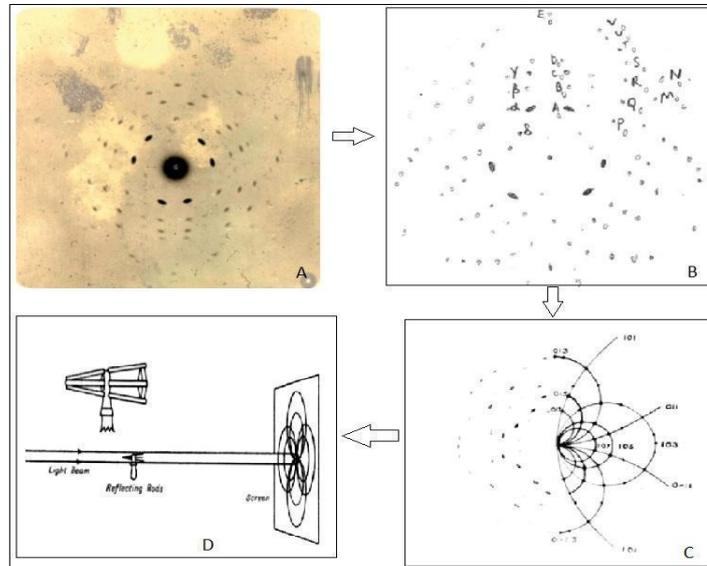


Fonte: Gooding (2004, p. 18)

De acordo com Gooding (2004) as imagens apresentam a redução de fenômenos complexos para uma abstração padronizada e, também, para um aprimoramento dimensional, quando os esboços passam de duas dimensões para três dimensões. Como inferência construída a partir desses esboços, Gooding (2004) afirma ser o final dessas representações (Figura 03) o primeiro dispositivo para produzir movimento eletromagnético contínuo, ou seja, um esboço do motor elétrico desenvolvido por Faraday. Essa sequência de imagens sugere que o desenvolvimento e a modificação de representações de Faraday foram fundamentais para esclarecer e aperfeiçoar seus entendimentos teóricos e fizeram parte de processos informais de raciocínio pelos quais novas ideias foram criadas.

Gooding (2010) também apresenta como exemplo uma representação visual que foi construída a partir da interpretação de uma imagem de um cristal. A Figura 04 sintetiza essa construção.

Figura 04: Imagem e representações de um cristal



Fonte: Gooding (2010, p. 18)

A Figura 04 contempla uma fotografia de um cristal simples, usando um padrão de difração de raios-X (A), feita por William Lawrence Bragg, físico atuante no campo da cristalografia. Em seguida está um desenho feito com base nessa fotografia, o qual apresenta um conjunto de pontos feitos a partir das manchas nela encontradas (B). Logo a seguir foi gerado um diagrama baseado nos pontos marcados no desenho (C), ou seja, fundamentada em um desenho em duas dimensões foi feita a representação de uma estrutura tridimensional de difração de raio-X. Por fim, é apresentado o modelo físico (D) “que demonstra como a difração pode produzir os padrões elípticos que correspondem às posições dos pontos nas fotografias de raios-X” (p. 18).

De acordo com Gooding (2010) a fotografia (A) é uma imagem que por si só não representa nada científico. A colocação da rotulagem, as marcações e as legendas nas representações posteriores transformam a imagem em um objeto científico (B, C e D).

Conforme abordamos nos três exemplos apresentados, a produção de conhecimento científico nas universidades e centros de pesquisa não é realizada e comunicada apenas por meio da linguagem verbal. Ao comunicar seus achados, o pesquisador normalmente combina texto verbal com expressões matemáticas, gráficos, tabelas, diagramas, mapas, desenhos, fotografias, ou seja, os cientistas

recorrem a inúmeros modos semióticos no desenvolvimento e divulgação dos resultados de suas pesquisas (LEMKE, 1998; LATOUR, 2000; ROTH; BOWEN, 1998). Dessa forma, podemos dizer que a Ciência é comunicada por meio de representações multimodais (TYTLER *et al.*, 2013a). Os estudos de Gooding nos mostram, no entanto, que as representações multimodais também são usadas para organizar o pensamento do cientista (2004) e para gerar um dado científico a partir de algo do contexto (2010).

Utilizando como base os casos estudados por Gooding (2004, 2006, 2010), que apresentam as representações como inerentes à prática científica, além dos estudos de outros cientistas, Prain e Tytler (2013) exploram a proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações em salas de aula de Ciências, o que chamam de **representações multimodais**. Na tentativa de aproximar cada vez mais o ensino e a aprendizagem de Ciências de práticas científicas autênticas, a abordagem de ensino embasada na construção e interpretação de representações a partir de diferentes modos semióticos mostra-se relevante. O ato de representar é uma habilidade importante para um indivíduo tornar-se letrado cientificamente, e não apenas um recurso periférico (PRAIN; WALDRIP, 2010).

Uma aprendizagem científica de qualidade é oportunizada quando os estudantes estão motivados/engajados a representar e justificar fenômenos e conceitos científicos; têm múltiplas oportunidades para representar, traduzir, justificar e reconfigurar compreensões por meio de processos de experimentação e aprendizagem colaborativa entre pares; compreendem a forma/função de diferentes representações científicas; e são capazes de integrar esses modos para interpretar e criar argumentos convincentes em relação a temas e conceitos científicos (TYTLER *et al.*, 2013a; HAND; MCDERMOTT; PRAIN, 2016).

Antes de abordar os princípios e fundamentos das representações multimodais – o referencial teórico desta pesquisa – é importante realizar alguns apontamentos e diferenciar os termos “múltiplas representações” e “representações multimodais”. O termo “múltiplas representações” designa a prática de representar um mesmo conceito ou fenômeno, apresentando representações canônicas que remetem a diferentes modos semióticos, em um processo conduzido, em sua maior parte, pelo professor (PRAIN; WALDRIP, 2006). Porém, esse termo foi ampliado, na medida em que o protagonismo do estudante se mostrou importante no processo, passando a ser denominado “representações multimodais”. Em Tytler, Prain e Peterson (2007), representação multimodal é entendida como a integração, no discurso científico, de

diferentes modos de representar o raciocínio, os processos e as descobertas científicas, com a finalidade de que os estudantes se apropriem do significado dos conceitos, conforme forem compreendendo as diferentes formas representacionais desse discurso. Na prática do ensino de Ciências, isso equivale a propor aos estudantes a construção de representações e, a partir das representações por eles propostas, iniciar um processo de negociação, até se aproximar da representação canônica. Podemos pensar na distinção dos dois termos utilizando como exemplo o conceito de Ligação Química. A utilização de múltiplas representações do conceito de ligação química envolve representar o mesmo conceito de diferentes modos (verbal, desenho no quadro, modelo com balões de aniversário, simulações), sempre visando aproximar das formas canônicas de representar, em um processo conduzido prioritariamente pelo professor. Durante a manipulação de representações multimodais, por sua vez, os estudantes propõem representações para um conceito/fenômeno, que serão objeto de discussão entre os pares e com o professor. Nesse sentido, outros modos semióticos podem ser usados pelos estudantes para comunicar e compreender o conceito de ligação química. Cada representação é responsável por elucidar um aspecto do conceito em questão, e a manipulação/construção de uma sequência de representações auxilia o estudante na sua compreensão. Nesse caso o estudante assume o protagonismo na aula.

Para nossa pesquisa utilizamos o termo representações multimodais partindo da premissa de que a apropriação de conceitos científicos é favorecida durante o processo de construção, negociação, aprimoramento e justificação de representações, sendo a linguagem a principal mediadora de todo esse processo. De acordo com Tytler e colaboradores (2013a), o ensino de Ciências fundamentado em representações multimodais foi estruturado com base em diferentes abordagens teóricas aplicadas a contextos de educação, envolvendo a linguagem e os processos de comunicação, o ensino e a aprendizagem de Ciências, e a multimodalidade. Passamos agora a comentar brevemente os estudos envolvendo a semiótica social (KRESS; VAN LEEUWEN, 2006) e a abordagem sociocultural (VIGOTSKI, 2009), por serem os estudos com os quais temos mais proximidade.

2.1 A semiótica social e a Multimodalidade

A semiótica analisa os sistemas de comunicação presentes em uma sociedade, o que inclui os estudos do campo linguístico aplicados aos modos não verbais de comunicação (KRESS; VAN LEEUWEN, 2006). Uma vertente dos estudos em semiótica – a Semiótica Social – busca compreender o processo de significação (produção e recepção do signo), situando-o como parte de uma construção social. O foco dessa vertente está na “forma como as pessoas usam os modos semióticos para produzirem artefatos comunicativos e eventos para interpretá-los – que é uma forma de produção semiótica – no contexto de situações sociais e práticas específicas” (VAN LEEUWEN, 2005, p. 11).

A Semiótica Social marca o início dos estudos em Semiótica aplicados a textos multimodais, ao considerar todos os modos semióticos que acompanham o modo verbal, propondo uma nova abordagem, embasada nos estudos de Halliday, cujo foco está centrado nas funções sociais da linguagem (SANTOS; PIMENTA, 2014).

Na perspectiva da Semiótica Social, o texto é visto como processo e produto. O texto como processo é entendido como uma troca social de significados, uma interação entre falantes e, como produto, como uma instância de significado social em um determinado contexto. A Gramática Sistêmico-Funcional (GSF), descrita por Halliday (1978), aborda a natureza funcional e social da linguagem. De acordo com a GSF, a linguagem é social ao considerar que as escolhas funcionais e linguísticas dos produtores de textos são resultado de suas vivências sociais. A Semiótica Social ampliou os alcances da GSF, integrando os estudos sobre multimodalidade.

A Semiótica Social trabalha com a discussão de princípios semióticos amplos, a partir das formulações teóricas de Halliday (1978): (i) a noção de escolha do sistema de linguagem; (ii) as configurações de significado a partir do contexto; e (iii) as funções semióticas da linguagem, formulações essas que são explicadas a seguir.

Para os pesquisadores do campo da Semiótica Social, a noção de escolha do sistema de linguagem é fundamental e parte da premissa de que no processo de significação o produtor do signo escolhe o que considera ser a representação mais adequada ao que se deseja significar. As configurações de significado especificam o modo como o texto será registrado (KRESS; LEITE-GARCÍA; VAN LEEUWEN, 2001), se por meio de um texto oral, escrito, imagético, dentre outros modos. Halliday (1978) categoriza as funções semióticas da linguagem por meio de três subfunções gerais,

as quais denomina metafunções, e que se subdividem em ideacional, interpessoal e textual. As metafunções são utilizadas para identificar tanto os padrões de escolha de determinados signos em uma situação específica de comunicação, quanto a função ou os usos sociais da linguagem em um contexto comunicativo. As três metafunções definem do que se fala (ideacional), com quem se fala (interpessoal) e como se fala (textual) e estão presentes em qualquer tipo de texto produzido, seja ele oral ou escrito. Desse modo, quando empregamos as metafunções em outros modos semióticos, devemos considerar esses mesmos princípios e compreender como elas auxiliam a produção de significados no uso desses modos.

É importante estabelecer a distinção entre linguagem, fala e escrita. A linguagem é caracterizada como uma entidade abstrata, um sistema de signos estabelecido por convenções sociais. Fala e escrita são entidades concretas e representam dois modos semióticos distintos. A fala é regulada pela entonação da voz e pela pausa e velocidade da fala, por exemplo. A escrita possui recursos distintos, como negrito e letras maiúsculas para assinalar ênfase, a pontuação para as pausas e os parágrafos para delimitar assuntos, recursos esses que a potencializam (MORTIMER; MORO; SÁ, 2018).

Tendo em vista que a Semiótica Social inicia as discussões da Semiótica aplicadas a textos multimodais, passamos agora a uma breve explanação sobre a multimodalidade no contexto do ensino de Ciências.

O papel da linguagem nos processos de ensino e de aprendizagem de Ciências tem sido objeto de diversas pesquisas há algumas décadas (LEMKE, 1990; HALLIDAY; MARTIN, 1993; DRIVER *et al.*, 1999; MORTIMER; SCOTT, 2002; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; ERDURAN, 2007). Na literatura, uma das correntes que trata do Ensino de Ciências afirma que aprender Ciências implica aprender uma nova linguagem, diferente daquela com a qual estamos habituados em nosso cotidiano.

Há algum tempo pesquisadores vêm defendendo a necessidade de ampliar os estudos sobre a construção de significados no processo de ensino e aprendizagem de Ciências para além do foco exclusivo da comunicação baseada no texto escrito e falado (LEMKE, 1990; KRESS; LEITE-GARCÍA; VAN LEEUWEN, 2001). Nesse sentido, são explorados os multimodos, derivados da semiótica social, que entende que a linguagem se manifesta por meio de práticas sociais semióticas (KRESS, 2009). A motivação para estudar práticas de ensino e aprendizagem que partem dessa perspectiva resulta, como já citamos, da percepção da Ciência como um

empreendimento multimodal. Roth e Bowen (1998) acrescentam que, quando os cientistas se comunicam entre si, eles não utilizam apenas textos escritos e falados, mas gesticulam, mudam a expressão facial, movem-se no espaço, utilizam recursos visuais, dentre outros modos.

O campo de pesquisa sobre a multimodalidade parte do entendimento que os significados são produzidos, compartilhados, recebidos, interpretados e reelaborados a partir da leitura de vários modos semióticos e não apenas por meio da fala ou escrita. Portanto, para compreender o processo comunicativo é necessário ir além da interpretação de textos falados e escritos e de seus significados, pois o que demanda compreensão é um conjunto de modos de representação e de comunicação (KRESS; VAN LEEUWEN, 2006; NORRIS, 2004; JEWITT, 2009; KRESS, 2009).

Kress (2010) define modo como um conjunto de “recursos semióticos para fazer sentido que é socialmente moldado e culturalmente dado. Imagem escrita, *layout*, som, música, gesto, fala, imagem em movimento, trilha sonora e objetos 3D são exemplos de modos usados na representação e na comunicação” (p. 79). Em uma perspectiva multimodal são estudados os modos, os recursos semióticos e suas materialidades. De acordo com Jewitt (2008) os modos são constantemente reelaborados pelos sujeitos que deles se apropriam em resposta às necessidades comunicativas das sociedades. Assim sendo, novos modos podem ser criados, enquanto os modos existentes vão sendo reelaborados constantemente, a depender do contexto.

Para exemplificar o que vem sendo considerado modo, reproduzimos uma lista de modos proposta por Mortimer, Moro e Sá (2018), acompanhada dos recursos semióticos e os meios de comunicação pelos quais eles são materializados.

Quadro 01: Relação de modos e recursos semióticos e dos meios de comunicação pelos quais eles são materializados

Modos semióticos	Recursos semióticos	Meios de comunicação/suporte
Fala	Entonação, pausa, velocidade	Aparelho fonador, gravador, microfone
Escrita	Palavras, orações pontuações, parágrafos, caixa alta, negrito	<i>Notebook</i> , quadro de giz, livro
Imagens	Sombra, plano, iluminação, cor	Quadro de giz, tela de projeção, livro
Gestos	Ação dêitica, modelagem	Corpo
Música	Ritmo, timbre, dinâmica, tessitura	Rádio, computador, CD <i>player</i> , instrumentos musicais

Fonte: MORTIMER; MORO; SÁ (2018, p. 27)

No caso de aulas de Ciências que exploram a representação, vários modos são usados para que um fenômeno seja amplamente representado, o que justifica a denominação “representações multimodais”.

Com o intuito de apontar argumentos compatíveis com os estudos envolvendo as representações multimodais e a importância da linguagem no ensino de Ciências, faremos uma breve explanação sobre os estudos socioculturais, os quais embasaram, com a multimodalidade, a abordagem baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais.

2.2 O estudo sociocultural

A aprendizagem dos conceitos científicos tem sido objeto de estudo por se mostrar importante para o entendimento do mundo material no qual estamos inseridos, e o ambiente escolar é um espaço privilegiado para que os sujeitos que o frequentam se apropriem desses conceitos. Nesse sentido, Vigotski desenvolveu estudos experimentais importantes, os quais lhe permitiram teorizar em torno da dinâmica do processo de formação de conceitos.

Vigotski (2009), em um estudo intitulado “Método de dupla estimulação”, investigou o desenvolvimento e a atividade das funções psicológicas superiores com o auxílio de duas séries de estímulos: uma desempenhando a função do objeto da atividade do sujeito experimental e a outra, a função dos signos. Sákharov, um dos colaboradores de Vigotski, foi responsável pelo experimento. As principais conclusões

a que os pesquisadores chegaram em relação ao desenvolvimento dos conceitos são descritas a seguir.

O desenvolvimento dos processos que acabam por gerar a formação dos conceitos durante as fases mais precoces da infância forma a base psicológica dessa formação. Antes da adolescência encontramos certas formações intelectuais que desempenham funções semelhantes às dos conceitos genuínos, que mais tarde aparecem. O processo de formação de conceitos é irreduzível às associações, ao pensamento, à representação, ao juízo, às tendências determinantes. Todas essas funções são participantes obrigatórias da síntese complexa que é o processo de formação dos conceitos. A questão central desse processo é o emprego funcional do signo, ou da palavra, como meio pelo qual o adolescente subordina ao seu poder as suas próprias operações psicológicas, das quais ele se vale para dominar o fluxo dos próprios processos psicológicos e para orientar suas atividades no sentido de resolver os problemas que tem pela frente. O novo emprego significativo da palavra, ou seja, o seu emprego como meio de formação de conceito, é a causa psicológica imediata da transformação intelectual que se realiza no limiar entre a infância e a adolescência.

A formação de conceitos é resultado de uma atividade complexa, em que todas as funções intelectuais básicas (atenção deliberada, memória lógica, abstração, capacidade para comparar e diferenciar) tomam parte. Outro aspecto relevante relacionado à formação de conceitos tratado por Vigotski (2009) diz respeito aos processos cotidianos, à experiência pessoal do sujeito e à instrução formal que, em seu entender, desenvolvem dois tipos de conceitos que se relacionam e se influenciam constantemente. Vigotski acredita que os conceitos espontâneos e os conceitos científicos fazem parte de um mesmo processo, ainda que se formem e se desenvolvam sob condições externas e internas diferentes e sejam motivados por problemas distintos. Para Vigotski esses conceitos cotidianos e científicos envolvem experiências e atitudes diferentes por parte das crianças e se desenvolvem por diferentes caminhos.

Um conceito espontâneo é formado a partir de vivências, enquanto o conceito científico é mediado por outros conceitos, e surge de ações intencionais, através da instrução, principalmente, nas instituições de ensino. Os conceitos científicos, que foram objeto de vários estudos em razão do meio pelo qual/no qual a consciência reflexiva se desenvolve, desde o início contêm relações de generalidade, por suas características essenciais, e merecem atenção especial porque a aprendizagem

escolar exerce papel importante em sua aquisição. Segundo Vigotski, nas experiências cotidianas o sujeito centra-se nos objetos e não tem consciência de seus conceitos, ao passo que ao lidar com conceitos aprendidos sob instrução formal, como por exemplo, na escola, ele consegue resolver com mais facilidade problemas que envolvem o uso consciente dos conceitos. No entanto, seus estudos confirmaram a hipótese de que os conceitos, espontâneos e científicos, embora desenvolvam-se por caminhos diferentes (opostos), encontram-se em determinado momento, quando o processo de significação acontece. As pessoas adquirem consciência dos seus conceitos espontâneos relativamente tarde, e a capacidade de defini-los por meio de palavras, de operar com eles à vontade, aparece muito tempo depois de os conceitos terem sido adquiridos. Contudo, Vigotski (2009) afirma que é necessário que o conceito espontâneo tenha alcançado certo nível para que o conceito científico correspondente seja internalizado. Os conceitos científicos dependem e se constroem, segundo Vigotski (2009), a partir dos conceitos cotidianos. A comparação que Vigotski estabelece entre a aquisição de conceitos científicos e aprendizagem de uma língua estrangeira é bastante elucidativa. Na língua materna, aprendemos a partir da nomeação direta dos objetos, enquanto para uma língua estrangeira a mediação da língua materna substitui o objeto. A aprendizagem dos conceitos científicos ou da segunda língua na escola baseia-se em um conjunto de significados das palavras, desenvolvido previamente e originário das experiências cotidianas da criança. Esse conhecimento espontaneamente adquirido faz a mediação da aprendizagem do novo. Vigotski (2009) defende que o desenvolvimento, principalmente o psicológico, depende da aprendizagem na medida em que se dá o processo de internalização dos conceitos. E que essa aprendizagem é promovida pela convivência com o outro, pelo processo de socialização, além das maturações biológicas. Para Vigotski a presença de um aparato biológico não é suficiente para que um indivíduo possa realizar uma tarefa, se ele não está inserido em um ambiente social, participando de práticas específicas que propiciem essa aprendizagem.

Conforme já apresentado, uma das discussões centrais nos estudos de Vigotski é a relação entre o pensamento e a linguagem. Vigotski enfatiza a capacidade do homem de criar sinais como mediadores na sua relação com os outros e com o mundo. Ao longo da evolução humana, o emprego desses sinais evoluiu e acabou por se transformar em processos internos de mediação, os signos. De acordo com Vigotski, os signos são representações mentais que substituem os objetos do mundo

real e são essenciais ao desenvolvimento dos processos mentais (VIGOTSKI, 2009). Os sistemas de signos são resultado da produção cultural, e a consciência do homem sofre transformações provocadas por eles (SOUZA; KRAMER, 1991).

O pensamento científico se utiliza de grande quantidade de signos e os articula durante a linguagem. A aprendizagem de novos conceitos científicos não pode ser separada da aprendizagem de como esses conceitos são criados e representados na Ciência, nem do significado dessas representações. Quando afirmamos que um estudante aprendeu determinado conceito científico, subentende-se que o estudante é capaz de mobilizar os conhecimentos dentro e fora do contexto de cada representação ensinada, é capaz de converter ou promover mudanças entre quaisquer representações para o conceito em questão e compreende a dinâmica de construção do conhecimento (TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007).

As obras de Vigotski que abordaram a relação entre pensamento e linguagem, embora tenham enfoque na linguagem verbal, podem ser empregadas para diferentes modos semióticos. O pensamento humano materializa-se em diversas representações semióticas que se encontram espalhadas nas mais diversas linguagens e variados modos de representações criados pela humanidade durante sua história. Com suas características cognitivas próprias, cada representação auxilia o pensamento de forma particular, dando estrutura e novas perspectivas às ideias e aos conceitos a serem aprendidos (LABURÚ; ZOMPERO; BARROS, 2013).

Considerando que a linguagem verbal, ainda que essencial e privilegiada, não engloba todas as formas de pensamento, acreditamos que quando acompanhada de outras formas representacionais ela se torna mais propícia a estimular pedagogicamente os estudantes na formação dos conceitos científicos. Dessa forma, trabalhar proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações ao ensinar Ciências é uma maneira de potencializar instrumentos de pensamento com o objetivo de estabelecer níveis de compreensão cada vez mais elaborados, proporcionando aos estudantes a vivência em atividades científicas autênticas, envolvendo ferramentas culturais. Em suma, para consolidar a aprendizagem, é indicado que os estudantes aprendam a transitar entre diferentes modos semióticos (verbal, escrito, visual, fórmulas matemáticas) e saibam coordenar todos esses modos ao construir suas próprias representações. Além disso, eles devem ter consciência de que a Ciência é construída em centros de pesquisas, indústrias e universidades por

meio da criação, negociação, aperfeiçoamento e justificação de representação entre pares (TYTLER *et al.*, 2013a).

Na tentativa de aproximar cada vez mais o ensino e a aprendizagem de Ciências de práticas científicas autênticas, a seguir comentaremos os princípios das representações multimodais, abordagem que é baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações, e que tem como objetivo um ensino de Ciências que faça sentido social e culturalmente e que permita uma aprendizagem de qualidade.

2.3 Conhecendo as representações multimodais

As sequências de ensino de Ciências na perspectiva de construção e interpretação de representações propostas por Tytler e colaboradores (2013a) são baseadas em **desafios representacionais**. Os estudantes são desafiados a construir e justificar uma representação e, com isso, a participar de um processo de negociação que conduz à reelaboração dessa representação. Com isso, esses estudantes exploram ativamente conceitos/fenômenos e constroem argumentos que justificam suas escolhas. Nessa perspectiva, para realizar essas representações os professores selecionam as ideias-chave necessárias para o entendimento de um determinado conceito/fenômeno e os modos semióticos. Cada representação tem suas próprias restrições e ao navegar entre diferentes modos ou diferentes representações o estudante acaba por entrar em contato com o que Tytler e colaboradores (2013a) denominam de **restrições produtivas**. Cada representação de um conceito oferece informações sobre um seu traço peculiar, sem ser capaz de descrevê-lo completamente. A razão disso vem do fato de uma representação apresentar natureza diversa de outra, proporcionando capacidade restrita para representar e descrever aspectos diferentes do referente, uma vez que cada sistema semiótico encerra propriedades específicas que limitam intrinsecamente suas possibilidades de representação (TYTLER *et al.*, 2013a). Com isso, na representação de um movimento de partículas, por exemplo, é possível que a linguagem verbal associada aos gestos tenha maior potencial para auxiliar no entendimento do que é comunicado. No caso de um ciclo bioquímico, como é o caso do Ciclo de Krebs, a imagem certamente tem um potencial maior para comunicar. Esse potencial vem sendo tratado como **affordances**.

Gibson (1979) teoriza que os indivíduos interagem com o ambiente físico em termos de *affordances* que apoiam seus objetivos ou intenções. Seus estudos procuraram ir além de um foco apenas nos processos mentais do indivíduo e se centraram nas interações com o meio e entre os pares. Tytler e colaboradores (2013a) descrevem as *affordances* como interações perceptivas com o ambiente, o que inclui comportamentos e estratégias aprendidas em sala de aula. Norman (1999) considera que todos os recursos semióticos podem ser utilizados com o intuito de ensinar/aprender Ciências quando são entendidos como “habilitadores”, ou seja, quando facilitam ou restringem uma ideia/explicação. Ainda que não haja uma “palavra” na língua portuguesa que traduza adequadamente o sentido de *affordances*, o termo tem sido usado para tratar de determinados aspectos de um material que potencializam o seu uso ou como possibilidade de ações que potencializam a relação que temos com determinado recurso (JANUARIO; MANRIQUE; PIRES, 2018). Considerando também os limites apresentados por um dado objeto ou recurso, no caso deste trabalho *affordances* tem o significado de possibilidades e limites de uma determinada representação durante o desafio representacional, os quais restringem de forma produtiva a atenção dos estudantes durante o processo de construção, negociação, refinamento e justificação de representações. As *affordances* de um determinado modo semiótico ou de uma representação auxiliam os estudantes a compreender o que está sendo comunicado e a distinguir aspectos relevantes que uma representação oferece quando comparada a outra.

Nessa perspectiva, os estudantes constroem representações que são justificadas, negociadas e refinadas. Para que isso aconteça, em cada etapa o estudante comunica aos pares as suas ideias, utilizando diferentes modos semióticos. Os desafios representacionais, atividades desenvolvidas no formato que acabamos de descrever, são denominadas de representações multimodais (TYTLER *et al.*, 2013a). Passamos, a seguir, a comentar as etapas envolvidas nessas atividades.

No processo de **construção de representações** os estudantes são orientados a identificar a necessidade de se utilizar uma representação para explicar um conceito/fenômeno antes da introdução das formas canônicas da Ciência. Eles são desafiados e apoiados a elaborar representações usando diversos modos, desenvolvendo explicações e resolvendo problemas. Os estudantes são apoiados na coordenação das representações durante todo o processo, tanto pelo professor quanto pelos colegas.

Após elaborar a representação para um dado fenômeno o estudante é convidado a justificar/explicar sua representação, processo esse mediado pelo professor e apoiado pelos pares, dando início à negociação das representações construídas. Essas discussões visam esclarecer aspectos envolvidos nas diferentes representações, o que gera a necessidade de outros modos de representar para que sejam trabalhados tópicos distintos de um conceito. O diálogo auxilia a dar coerência à representação proposta pelos estudantes, facilitando que se chegue a uma representação coerente para o conceito/fenômeno em discussão, em um processo guiado.

No processo de **refinamento das representações**, o professor utiliza a linguagem como mediadora e fornece restrições produtivas, aspectos conceituais ou evidências empíricas que auxiliam os estudantes a refinar e aperfeiçoar as representações construídas com o intuito de explicar/descrever o conceito/fenômeno estudado.

Nas atividades envolvendo representações multimodais, o aprendizado significativo inclui o mapeamento representacional. Essa dinâmica consiste na construção das representações por meio da exploração de diferentes aspectos de um conceito ou fenômeno pelos estudantes, com o mapeamento do que foi inferido durante a observação. A avaliação do processo de construção de representações é contínua e integrada a todas as etapas do desafio representacional. Estudantes e professor são envolvidos na avaliação da adequação de cada representação construída para o entendimento de um conceito/fenômeno mais abrangente. A avaliação da adequação de cada representação construída integra a etapa de **justificação das representações** que emergiram do desafio representacional.

Embora tenhamos descrito cada uma das etapas envolvidas separadamente, é preciso salientar que não há uma fronteira clara entre elas e que, por vezes, elas se fundem, acontecendo ao mesmo tempo.

2.3.1 Contribuições das representações multimodais para o ensino de Ciências

Kozma (2003) afirma que os cientistas utilizam representações para negociar/compartilhar conhecimento e criar raciocínios em torno dos achados de suas pesquisas. Esse pesquisador argumenta que um ensino de Ciências orientado por um

processo de construção, justificação e refinamento de representações multimodais possibilita que os estudantes desenvolvam capacidades de organizar o pensamento e de comunicar ideias. Em outra publicação, Kozma e Russell (2005, p. 129-130) afirmam que os estudantes aprendem Ciência de uma forma significativa quando participam de atividades “nas quais as representações são usadas na formulação e avaliação de conjecturas, exemplos, aplicações, hipóteses, evidências, conclusões e argumentos”.

De um ponto de vista semiótico, quando a aquisição de conhecimentos fica circunstanciada a um número reduzido de modos de representação, a aprendizagem torna-se frágil, o pensar permanece encapsulado e os estudantes têm dificuldade de pensar o conceito/fenômeno em um contexto distinto daquele que foi ensinado. Frequentemente, o ensino dos conceitos se dá dessa forma no ambiente escolar, ainda que isso não exclua a possibilidade de alguma forma de compreensão por parte dos estudantes. Os estudantes que se utilizam de uma linguagem restrita, com poucos modos de representação, ao saírem das fronteiras e do contexto da representação estudada, entrando em uma situação desconhecida, podem ser incapazes de transpor os conhecimentos adquiridos para outro contexto e/ou situação. Segundo Kozma e Russel (2005), quando as aulas se utilizam um número reduzido de modos semióticos, a transição da representação de um conceito para uma representação a partir de outros modos, ou seja, as reconfigurações representacionais, torna-se um verdadeiro obstáculo.

A aprendizagem resultante da pluralidade de modos de comunicação, nas suas diversas formas representacionais e em combinação com um discurso integrador baseado em multimodos de representação, constitui um mecanismo pedagógico fundamental, na medida em que aprimora consideravelmente o processo de significação e oferece procedimentos variados de interpretação e entendimento. Além disso a compreensão de um mesmo conceito fundado em distintos modos de comunicação faz com que o pensamento e os achados científicos abram possibilidades de novas significações conceituais. Dessa forma, para que a aprendizagem de Ciências se realize de maneira mais efetiva e engajada, é considerado necessário que os estudantes sejam desafiados a desenvolver um entendimento mais profundo dos significados em diversas representações. Para que isso aconteça, diferentes modos de comunicação dos conceitos e processos científicos devem ser trabalhados e é indicado que os estudantes sejam capazes de

transformar e coordenar as diferentes representações por meio do uso de diferentes modos semióticos (PRAIN; WALDRIP, 2006).

Segundo Prain e Waldrup (2006), a criação e a manipulação de diferentes formas representacionais ancoradas em diferentes modos semióticos sustentam a aprendizagem por três motivos: são convenientes para complementar ou reforçar, por confirmação, conhecimentos de tópicos e conteúdos aprendidos anteriormente; propiciam, por restrição, o refinamento de uma interpretação, ao limitarem o foco do aprendiz a conceitos fundamentais; e capacitam o estudante a identificar um conceito ou uma abstração por meio de representações que consideram diferentes modos semióticos.

Russell Tytler, Vaughan Prain, Peter Hubber e Bruce Waldrup compõem um grupo de pesquisadores pioneiros na abordagem baseada na proposição, justificação/negociação e reelaboração de representações para as aulas de Ciências. Esses autores publicaram um número expressivo de trabalhos sobre o tema e se apropriaram da expressão “Representações Multimodais” para tratar de atividades que ressaltam o papel da representação na Ciência e no ensino de Ciências. Fruto de uma extensa pesquisa envolvendo representações multimodais em aulas de Ciências, eles organizaram um livro intitulado *Constructing representations to learn in Science* (TYTLER *et al.*, 2013a), estruturado em 12 capítulos, sobre os quais faremos breves comentários a seguir.

O primeiro capítulo aborda um panorama geral dos trabalhos publicados com representações multimodais em aulas de Ciências, incluindo os pressupostos, as razões e as práticas dessas pesquisas. Os autores citam Latour (1986) e Lemke (1998), ao afirmarem que o entendimento da produção de conhecimento científico é uma atividade multimodal, crucial para que os pesquisadores educacionais investiguem o papel das representações no ensino e na aprendizagem de Ciências.

O segundo capítulo tem como foco a visão dos professores sobre a utilização de representações multimodais em aulas de Ciências. Os autores discorrem sobre estudos iniciais envolvendo entendimentos, raciocínios e percepções de representações; crenças e práticas dos professores em torno do papel de diferentes representações; estudos de situações de ensino nas quais os professores trabalharam com representações multimodais em aulas de Ciências; e, por fim, apresentam uma estrutura gerada a partir desses estudos, para orientar a prática. Os autores afirmam que uma sequência de atividades ancoradas em desafios representacionais precisa

orquestrar alguns aspectos, tais como: (i) identificação de conceitos-chave ou ideias centrais de um tópico na fase de planejamento, para antecipar quais representações podem ser utilizadas no processo; (ii) foco na função de cada tipo de representação proposta, tendo em vista a compreensão do fenômeno/conceitos; (iii) sequência de desafios representacionais que permitam aos estudantes explorar, explicar e estender suas ideias a diversas situações distintas; (iv) estudantes protagonizando o processo de construção de representações; (v) engajamento dos estudantes; (vi) conexão entre conceitos/fenômeno e as representações construídas; (vii) avaliação ao longo de todo o processo; (viii) compreensão do propósito de cada representação construída; e (ix) oportunidade para que estudantes possam negociar suas representações com os pares e com o professor.

Do terceiro ao décimo capítulo são descritos uma variedade de aspectos do programa de pesquisa por meio da análise de situações de ensino nas quais os professores trabalharam com representações multimodais em aulas de Ciências. Essas situações de ensino englobam conteúdos de Física (força e princípios de astronomia), Química (substâncias simples e compostas, e energia envolvida nas transformações de estado físico da matéria) e Biologia (animais invertebrados) desenvolvidos com estudantes de diferentes faixas etárias, pertencentes, no que corresponde ao currículo brasileiro, ao Ensino Fundamental. Os autores exploram aspectos envolvendo modelos, natureza da Ciência e diferentes formas de raciocínio ao descreverem tanto as sequências de desafios representacionais quanto as representações construídas pelos estudantes no contexto. Mostram também como essas representações foram reelaboradas ao longo do processo, como consequência da mediação do professor e do compartilhamento entre os pares.

O capítulo 11 aborda as implicações da abordagem baseada na proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações multimodais no ensino de Ciências. Nesse capítulo os autores sugerem que a aproximação entre as representações e os estudantes e a Ciência, acompanhada da negociação de significados intencionados e compartilhados, com a qual se oferecem múltiplas oportunidades de representação, pode fornecer ricos e responsivos caminhos para o processo de ensino e aprendizagem. Segundo os autores, tal abordagem respeita as ideias dos estudantes e a variedade de perspectivas culturais, pois o foco na negociação e no esclarecimento de representações canônicas pode alinhar-se ao desenvolvimento de entendimentos interculturais. Eles inclusive argumentam que nas

Representações Multimodais o discurso dialógico proposto por Mortimer e Scott (2003) materializa-se em sala de aula.

No último capítulo, Gilbert (2013) faz a distinção entre modelos e representações e também justifica o motivo pelo qual a construção de representações permite uma aprendizagem significativa e uma investigação científica autêntica. Considerando que Gilbert trabalha com o termo “modelo” e não com o termo “representações”, passamos agora a uma breve explanação em torno da distinção entre modelos e representações.

2.3.2 As representações multimodais e os modelos

Conforme já abordamos, o processo de ensino e de aprendizagem de Ciências é permeado por conceitos abstratos. Com o intuito de tornar esses conceitos mais tangíveis no ambiente escolar os educadores utilizam modelos canônicos da Ciência. Segundo Gilbert (2013), em contato com os modelos canônicos estudantes constroem em suas mentes “modelos mentais”, como uma etapa do processo de internalização do conceito que o modelo concreto canônico representa. Modelos mentais são maneiras de representar o mundo externo em nossa mente (MOREIRA, 1996), uma vez que as pessoas não captam o mundo exterior diretamente, mas constroem representações internas dele. Os modelos mentais são análogos estruturais do mundo e Johnson-Laird (1983) sugere que as pessoas raciocinam fazendo uso desses modelos. De acordo com esse autor, modelos mentais são como blocos de construção que podem ser combinados e recombinaados durante o processo de aprendizagem. Formados a partir dos modelos concretos e, assim como esses, utilizados para comunicar o conhecimento científico, os modelos mentais também representam o fenômeno/conceito e captam sua essência (HAMPSON; MORRIS, 1996, p. 243).

Um dos objetivos da pesquisa na área científica é compreender o funcionamento do mundo natural. Para alcançar esse objetivo, os cientistas fazem observações, identificam padrões, e desenvolvem e testam explicações para esses padrões. Essas explicações são chamadas de modelos científicos (TYTLER *et al.*, 2013a). Gilbert (1991) definiu a Ciência como um processo de construção de modelos, ressaltando o processo de produção do conhecimento e seu caráter epistemológico.

Apesar da ampla concordância do papel central desempenhado pelos modelos na construção do conhecimento científico, não existe uma definição consensual de

modelo na literatura de Educação em Ciências (OH; OH, 2011). Esses autores, por exemplo, definem modelo como representação. Nersessian (2008, p. 392) amplia essa definição e descreve um modelo como “representações de objetos, processos ou eventos que captam relações estruturais, comportamentais ou funcionais, significativas para entender essas interações”. Gilbert (2011), por sua vez, estabeleceu uma série de categorias para os modelos, que citamos acompanhadas de alguns exemplos: modelos concretos (modelos em escala, figurinhas); modelos gráficos (plantas, fotografias, diagramas); modelos matemáticos (fórmulas, gráficos, mapas topográficos); modelos verbais (descrições, roteiros, direções); modelos de simulação (jogos de simulação, bonecos de teste de colisão); e modelos semióticos (palavras, números, figuras matemáticas).

Apesar dessa falta de consenso sobre a definição precisa de modelo, todas as definições têm em comum um conjunto de atributos de um conceito/fenômeno e um sistema de destino, que é a entidade a ser representada (NORMAN, 1983). É de se ressaltar que um modelo não pode representar todos os atributos do destino, pois nesse caso seria uma cópia, o que sugere que todos os modelos têm limitações, ou seja, tanto o modelo quanto o destino possuem atributos para os quais não há correspondência. Uma explicação completa de um sistema do mundo real, portanto, requer vários modelos.

Conforme já abordamos, as representações multimodais envolvem a utilização de diferentes modos semióticos para retratar e sistematizar um conceito ou um fenômeno. Todos os modelos podem, nessa perspectiva, ser classificados como representações. No entanto, nem todas as representações são modelos. Representações são os recursos fundamentais ou as ferramentas por meio das quais os modelos são construídos e interpretados.

Embora distinta das abordagens de modelagem, na qual o foco é a interpretação de modelos canônicos, a abordagem baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais é amplamente consistente com aspectos de alguns trabalhos de raciocínio baseados em modelo nos quais o foco é a construção de modelos (JUSTI; GILBERT, 2003; LEHRER; SCHAUBLE, 2006). Essa abordagem tem como objetivo desafiar os estudantes a gerar, interpretar, refinar e justificar representações como etapa fundamental no aprendizado de Ciências e, para isso, pode fazer uso de representações informais que auxiliarão na construção de representações formais.

Os modelos construídos por estudantes diferem dos modelos canônicos da Ciência no seu grau de “acabamento”. Os modelos científicos são construídos e modificados para considerar tantos atributos do alvo quanto possível. Eles são “esticados” como parte do jogo de modelagem científica (GILBERT; BOULTER, 1995). Essa distinção entre os modelos refinados e “esticados” da Ciência e os modelos especulativos gerados pelos estudantes pode ser compreendida como uma das distinções entre representações e modelos, de acordo com Tytler e colaboradores (2013a).

As representações multimodais usam, em algumas situações, raciocínios informais que podem auxiliar no desenvolvimento do raciocínio formal e que não têm a característica internalista própria da modelagem, embora a construção de um “modelo mental” seja consequência. Em nosso trabalho, optamos pela abordagem baseada em “representações multimodais” por considerarmos que ela se aproxima de uma prática científica autêntica e pode auxiliar na formação de uma ideia mais clara da produção do conhecimento em Ciências. O processo de construção, negociação e refinamento permite uma evolução das representações no sentido de uma maior proximidade dos modelos canônicos e da explicação de um dado conceito/fenômeno. Entendemos que a reelaboração de representações é etapa determinante na apropriação de um conceito científico. A seguir, abordamos o desenvolvimento de raciocínios inerentes à prática de construir, negociar e refinar representações.

2.3.3 As representações multimodais e o desenvolvimento de raciocínios

Os processos de raciocínio inerentes às atividades científicas tradicionalmente são interpretados levando em conta as relações entre ideias e evidências, e as formas como elas são coordenadas. De acordo com a Ciência Cognitiva, o raciocínio é caracterizado em termos de processos de raciocínio formal e silogístico (dedutivo, indutivo, abduativo) que envolvem lógicas baseadas em entidades linguísticas (TYTLER *et al.*, 2013b).

De acordo com Gooding (2006), o processo de dedução tem como princípio a análise de diferentes informações que visam convergir em direção a uma única explicação e está relacionado a concluir algo a partir de informações que já existem. O processo de indução tem como base a utilização de métodos empíricos para validar conhecimentos já existentes. A lógica abduativa, por sua vez, atua entre os dois

processos citados, e é utilizada para que seja alcançada a melhor explicação possível para algo.

Na perspectiva da Ciência Cognitiva, a tomada de decisão em processos científicos e a aprendizagem de Ciências englobam duas etapas: a de imaginar e representar soluções, vista como automatizada, intuitiva e baseada em conhecimentos prévios; e a de avaliação/julgamento, vista como analítica, linguística e baseada em evidências e, portanto, mais alinhada aos processos lógicos formais descritos na literatura de educação em Ciências sobre raciocínio. Tytler e colaboradores (2013b) questionam se esses processos lógicos formais são, por si, capazes de capturar adequadamente os processos de raciocínio que sustentam uma aprendizagem significativa de Ciências e o raciocínio inerente aos processos epistêmicos da própria Ciência. De acordo com os autores, os processos informais de raciocínio têm um papel importante no aprendizado de Ciências pelos estudantes, destacando particularmente o papel da percepção e o papel central da linguagem, por meio de metáforas e representações, em processos de raciocínio deliberativo. Os autores destacam, ainda, que na Ciência os modos informais de raciocínio, associados à criação de novos modos de representação, são criticamente importantes na geração e negociação de ideias (TYTLER; PRAIN, 2010).

Em consonância com as ideias levantadas, o relato de Gooding (2006) sobre os registros escritos de Faraday traz indícios de que o desenvolvimento e a modificação de representações desse cientista foram fundamentais para esclarecer e aperfeiçoar seus entendimentos teóricos e fizeram parte de processos informais de raciocínio pelos quais novas ideias foram criadas.

Ampliando as percepções de Gooding (2006) para o contexto educacional, Tytler e colaboradores (2013b) afirmam que a abordagem de representações multimodais permite ricas oportunidades para o raciocínio na Ciência, não apenas no ato específico de construção das representações, mas nas diversas etapas dos desafios representacionais. Os autores destacam os processos de percepção de prioridades, exploração, desenho e modelagem, desafio e negociação, extensão de ideias e comunicação entre os pares. O raciocínio presente nessas atividades não pode ser classificado como um raciocínio formal que reconhece apenas processos linguísticos, mas inclui uma variedade de tipos de raciocínio informal, como o raciocínio analógico e metafórico, e o raciocínio através da construção e refinamento negociado de representações.

Em um estudo longitudinal utilizando a abordagem baseada na proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações multimodais, Tytler e colaboradores (2013a) classificaram os processos de raciocínio que ocorreram dentro desse contexto. No primeiro deles, o processo de raciocínio usado para guiar a exploração e investigação, eles destacam o raciocínio como organização de percepções em desenhos e modelos, o raciocínio usando artefatos materiais e simbólicos para organizar a geração de dados e o raciocínio para interpretar e analisar dados. No segundo processo, os autores indicam raciocínios usados para desenvolver e dar sentido a ideias emergentes, a saber: raciocínio para refinar representações; raciocínio sobre adequação representacional; e, finalmente, raciocínio para estender representações com o objetivo de resolver problemas em novos contextos.

Para um conhecimento mais amplo dos trabalhos desenvolvidos utilizando a abordagem de representações multimodais, realizamos uma revisão bibliográfica, apresentada a seguir.

2.4 Revisão da literatura

Com o intuito de identificar o que tem sido investigado recentemente em relação à utilização de representações multimodais no ensino de Ciências, realizamos buscas em base de dados nacionais e estrangeiras de trabalhos publicados no período de 2008 a 2020. Para compreender o cenário internacional nesse campo de pesquisa, realizamos um levantamento junto ao *Education Resources Information Center* (Eric), base de dados que indexa o maior número de periódicos na área de educação, utilizando a palavra-chave *multimodal representations* e o filtro de área *Science Education*. Para compreender o cenário nacional envolvendo a utilização de representações multimodais realizamos levantamentos no portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e nos anais do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (Enpec), evento de ensino de Ciências de maior relevância no Brasil. De modo semelhante, utilizamos a palavra-chave “representações multimodais” e o filtro de área “ensino de Ciências” para efetuar as buscas dos trabalhos.

Encontramos um total de 30 trabalhos revisados por pares, sendo 29 na base de dados Eric e um artigo no portal de periódicos da Capes. Dentre essas publicações,

apenas dois trabalhos são de autores brasileiros, evidenciando a incipiência de publicações sobre representações multimodais no Brasil. As publicações foram lidas e inicialmente categorizadas em teóricas e empíricas. Em seguida, dividimos esses trabalhos em subcategorias, de acordo com os objetivos gerais identificados em cada artigo. As subcategorias criadas foram: aprendizagem significativa, letramento científico, formação de professores, tecnologias da informação (TICs), elaboração de representações multimodais por estudantes, avaliação, instrumento de análise de representações multimodais e utilização de representações multimodais por professores. Na Tabela 02 evidenciamos essas categorias e subcategorias e o número de artigos agrupados em cada uma delas. Destacamos a subcategoria que integra os trabalhos relacionados diretamente a esta pesquisa, os artigos que analisam a elaboração de representações multimodais por estudantes.

Tabela 02: Trabalhos encontrados sobre representações multimodais

Categoria	Subcategoria	Número de artigos
Teórico	Elaboração de representações multimodais por estudantes	01
	Aprendizagem significativa	01
	TICs	01
	Letramento científico	02
	Formação de professores	02
Empírico	Avaliação	01
	Instrumento de análise de representações multimodais	01
	TICs	03
	Utilização de representações multimodais por professores	07
	Elaboração de representações multimodais por estudantes	11

Fonte: Elaborado pela autora.

Nessa busca, como pode ser percebido, encontramos um total de sete artigos teóricos. Desse grupo, apenas um trabalho aborda a elaboração de representações multimodais por estudantes, foco de nossa pesquisa. Trata-se do trabalho de Yore e Hand (2010), que analisa o modo como a elaboração de representações multimodais

de um conceito científico auxilia o estudante a esclarecer seu entendimento sobre um conceito ou fenômeno. Os autores se apoiam na Ciência cognitiva, na psicologia do desenvolvimento e no letramento científico para argumentar que o raciocínio baseado na linguagem é indissociável e complementar às formas visuais de raciocínio. De acordo com eles, é favorável ao processo de ensino e de aprendizagem que o raciocínio baseado em representações se torne uma combinação dos modos verbal e visual, bem como dos modos simbólico e matemático. Segundo esses autores, desenvolver ricas explicações das ações cognitivas usadas durante essas negociações proporciona à comunidade escolar uma base de conhecimento muito mais forte relacionada a como desenvolver atividades apropriadas usando essa abordagem. Eles dizem, ainda, que essas explicações permitem um alinhamento mais sólido entre ensinar e aprender, o que é fundamental, considerando os avanços tecnológicos emergentes e as novas oportunidades representacionais que surgem.

Outro foco teórico que emergiu da revisão realizada foi o da aprendizagem significativa. Um dos trabalhos analisados (ZOMPERO; LABURÚ, 2010) relaciona os conceitos da Teoria da Aprendizagem Significativa com a utilização de múltiplas representações. Segundo Zompero e Laburú (2010), a aprendizagem de conceitos científicos e das representações simbólicas não ocorre de modo dissociado, pois não é possível cognitivamente separar a forma de representar os conceitos do que eles significam. Conseqüentemente, ensinar Ciências não se restringe a uma preocupação eminentemente conceitual e engloba a compreensão e a utilização de diferentes formas de representar um conceito ou fenômeno. A aprendizagem representacional constitui um tipo de aprendizagem significativa que envolve a atribuição de significados a símbolos e palavras. Por isso, o trabalho com múltiplos modos de representação em sala de aula mostra-se consistente com uma aprendizagem significativa, uma vez que por meio do emprego de uma pluralidade representacional o sujeito atribui significados e internaliza de forma integrada símbolos, palavras, objetos e conceitos. Vale ressaltar que Zompero e Laburú (2010) centram seus estudos nas múltiplas representações e não nas representações multimodais defendidas por Tytler e Prain (2013).

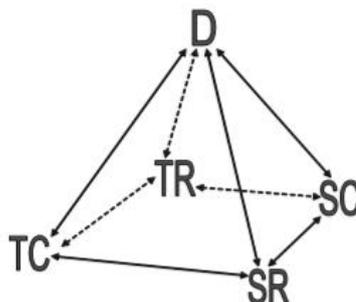
Em um artigo teórico Cope e Kalantzis (2013) abordam a utilização de TICs como ferramenta para um processo de ensino e de aprendizagem de Ciências de qualidade. Eles discorrem sobre um software desenvolvido em uma universidade nos

Estados Unidos, o *Scholar*, com diversos recursos educacionais que envolvem diversos modos semióticos de representação.

Dois dos artigos teóricos relacionam o letramento científico à abordagem de representações multimodais. De acordo com Prain e Waldrip (2010), aprender Ciências significa aprender um letramento específico e, portanto, aprender como integrar os letramentos multimodais da Ciência. Em vez de esses letramentos serem vistos como periféricos à aprendizagem, ou características superficiais de aquisição de conhecimento, eles são entendidos pelos autores como ferramentas cruciais para a produção de significado e produção de conhecimento. A capacidade de construir e interpretar textos científicos depende, portanto, de que os estudantes desenvolvam o conhecimento procedimental e conceitual vinculado às diversas representações científicas. De modo semelhante, Tang e Moje (2010) abordam questões inerentes ao letramento científico e à utilização de representações multimodais. Os autores alertam sobre a ênfase em modos representacionais específicos da Ciência, como fórmulas, equações químicas e modelos abstratos, e a possibilidade de essas representações engajarem os estudantes na aprendizagem de conteúdos científicos a partir do ensino secundário australiano, o que no Brasil corresponde aos anos finais do Ensino Fundamental e ao Ensino Médio.

Os dois últimos artigos teóricos abordam a formação de professores. Edwards (2015) descreve brevemente algumas mudanças nos programas de formação de professores na África do Sul e examina as abordagens teóricas que sustentam as reestruturações desses programas. Uma dessas abordagens considera as representações multimodais, cujo uso o autor argumenta que pode servir como uma pedagogia produtiva de representação na sala de aula de Ciências. Para ele, essa abordagem envolve o estudante em habilidades de pensamento de ordem superior, conectando o sujeito com o mundo além da sala de aula, em um ambiente que apoia e valoriza as diferentes oportunidades para desenvolver uma compreensão profunda de conceitos. Waldrip, Prain e Carolan (2010) também abordam questões inerentes à formação de professores. Os autores explicitam o papel do educador na abordagem baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais. Segundo eles, nessa perspectiva o ensino e a aprendizagem de Ciências envolvem várias tríades que se interconectam, conforme representado na Figura 05.

Figura 05: Tríades do processo de ensino e de aprendizagem na abordagem de construção de representações multimodais



Fonte: Waldrrip, Prain e Carolan (2010, p. 78).

As tríades evidenciadas por Waldrrip, Prain e Carolan (2010) incorporam o domínio (D), as concepções de professores (TC), as representações de professores (TR), as concepções de estudantes (SC) e as representações de estudantes (SR), e todos esses “vértices” se apoiam mutuamente. Segundo os autores, o professor escolhe os conceitos-chave do conteúdo a ser abordado (TC), os aspectos do domínio (D) – objetos físicos, experiências, artefatos, situação/contexto/processos – que serão foco do trabalho, e os tipos e sequências de representações a serem usadas para envolver os estudantes e desenvolver seu entendimento (TR). Embora a abordagem baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais evidencie o protagonismo do estudante, a maneira como o professor desenvolve e guia o processo de um desafio representacional possibilita ou invalida que os estudantes sejam capazes de construir suas próprias representações e de adequar essas representações conforme as demandas representacionais e as formas canônicas.

Dos sete artigos teóricos que emergiram da revisão bibliográfica, quatro apresentam um panorama da abordagem de ensino que tem como base a proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais, e ancoram essa abordagem em outras bases teóricas de ensino, como a aprendizagem significativa e o letramento científico. Um dos artigos vinculou o uso de representações multimodais à utilização das TICs, evidenciando que as diversas tecnologias podem ser utilizadas no auxílio à construção de representações de conceitos e fenômenos científicos. Dois outros artigos abordaram a formação de professores, evidenciando que a utilização de representações multimodais faz parte de discussões que envolvem a formação de novos educadores e a reestruturação de currículos de formação de professores de Ciências. Conforme destacamos, Waldrrip, Prain e Carolan (2010)

argumentam que apesar da abordagem de representações multimodais ser centrada no protagonismo do estudante, a maneira como o professor orienta os desafios representacionais é fator determinante para que essa estratégia seja bem-sucedida.

Passamos agora aos artigos empíricos identificados no levantamento realizado. Iniciamos pelo artigo categorizado como avaliação. Van Rooy e Chan (2017) investigam como as representações multimodais são utilizadas na compreensão de conceitos biológicos em avaliações em nível nacional ao término da Educação Básica na Austrália. Foram analisadas as avaliações aplicadas entre os anos de 2001 e 2013, identificando e classificando as representações multimodais nelas incluídas. Essa investigação é decorrente de um grande estudo australiano preocupado com o impacto das inovações tecnológicas no processo de ensino e aprendizagem de Ciências. Segundo os autores, a disponibilidade de tecnologias digitais e de suas possibilidades para a aprendizagem e ensino da Biologia no Ensino Médio, na Austrália, torna evidente a necessidade de que os examinadores, ao elaborarem as avaliações, incluam as representações multimodais, de modo que essas não se limitem a textos escritos e a modelos canônicos da Ciência. Os resultados indicam que, apesar da disponibilidade imediata de representações multimodais em materiais didáticos em sala de aula, as avaliações analisadas por eles fazem pouco uso desses recursos. Os exames escritos nem capturam toda a gama de conhecimentos e habilidades dominadas na sala de aula nem o poder das representações multimodais como ferramentas explicativas. De acordo com Van Rooy e Chan (2017), uma consequência desse descompasso entre os resultados do currículo e as ferramentas de avaliação é que os estudantes podem estar em desvantagem, pois a profundidade de seus conhecimentos e a sua compreensão dos conceitos biológicos não são efetivamente demonstradas por meio dos testes tradicionais. Um movimento em direção a uma variedade de formatos de avaliação alternativa é uma forma de garantir que a avaliação se alinhe ao aprendizado multimodal em sala de aula.

Na subcategoria instrumento de análise de representações multimodais, situa-se o artigo de Nitz, Precht e Nerdel (2014). Os autores desenvolveram um instrumento para avaliar quantitativamente o uso de representações multimodais em aulas de Biologia. O instrumento, para análise estatística, engloba as seguintes dimensões: a interpretação de representações visuais; a construção de representações visuais; o uso de textos científicos (representações verbais); o uso de representações

simbólicas; e o grau de viabilidade da construção social ativa do conhecimento em sala de aula. Os autores analisaram a recorrência de diferentes modos representacionais e sua eficácia em termos de aquisição de conhecimento. Os resultados demonstraram que o uso orquestrado de diferentes modos representacionais auxilia na apropriação do conhecimento científico. Nitz, Prechtl e Nerdel (2014) destacam a necessidade de pesquisas futuras que mesquem a utilização desse instrumento de análise com registros de observação das aulas para uma compreensão qualitativa do processo de construção de representações, além da necessidade de expansão da utilização do instrumento para as outras grandes áreas da Ciência (Química e Física).

Três artigos empíricos, referentes a pesquisas realizadas na Austrália, correlacionam as representações multimodais com as TICs, porém em três níveis distintos de instrução. No primeiro artigo, Brown, Murcia e Hackling (2013) relatam o uso de representações multimodais por estudantes do ensino secundário, considerando o currículo australiano, o que no Brasil corresponde aos anos finais do Ensino Fundamental e ao Ensino Médio. Outro trabalho (MURCIA, 2010) aborda a utilização de representações multimodais por professores e o terceiro artigo (HOBAN; NIELSEN, 2012) relata a manipulação dessas ferramentas semióticas por licenciandos. Brown, Murcia e Hackling (2013) analisam como as *slow motions*³ podem ser utilizadas para envolver estudantes do ensino secundário com representações multimodais para conceitos de astronomia. Segundo os autores, o discurso dos estudantes e a manipulação de representações não verbais sustentaram o desenvolvimento de entendimentos científicos, evidenciados nas animações finais. Também ficou patente que o processo colaborativo de criação de uma *slow motion* forneceu oportunidades para os estudantes utilizarem o discurso entre os pares para gerar e mediar as construções de representações multimodais. Murcia (2010) investigou como professores utilizam o quadro interativo em aulas de Ciências nos primeiros anos do ensino primário australiano, o que no currículo brasileiro corresponde aos anos iniciais do Ensino Fundamental. Os professores investigados expandiram a natureza e a variedade de ferramentas de ensino e aprendizagem

³*Slow motion*, em português câmera lenta, é o nome de um efeito especial de cinema e vídeo em que os movimentos e ações são vistos em um tempo de duração maior do que o normal, dando a sensação de que o próprio tempo está passando mais devagar. Embora o efeito só seja perceptível quando o vídeo é projetado, ele pode ser preparado previamente na filmagem ou no tratamento das imagens.

usadas com o quadro interativo e, como resultado, aumentaram as oportunidades para os estudantes experimentarem representações multimodais da Ciência. Hoban e Nielsen (2012) analisaram um curso de formação de educadores sob a perspectiva da utilização de diferentes modos representacionais em consonância com o uso de tecnologias. Os professores, participantes da investigação, propuseram a criação de *slow motions*, afirmando que esse recurso auxilia os estudantes a aprender um conceito científico porque engloba a construção de sequências de representações multimodais, o que os encoraja a pensar um conceito científico de diferentes modos. Hoban e Nielsen (2012) analisaram o envolvimento de licenciandos com a criação de uma *slow motion* e como o conceito de Ciência foi representado na animação. Embora os dados coletados no estudo não permitam que se afirme que os professores em formação aprenderam o conceito de Ciência durante a realização efetiva da animação, segundo Hoban e Nielsen (2012) os futuros professores tomaram muitas decisões na busca da melhor forma de representar o conceito em sua animação, o que ocorreu com diferentes projetos e com uma combinação de modos semióticos.

Sete dos artigos empíricos, apresentados a seguir, abordam a utilização de representações multimodais por professores com o intuito de proporcionar aos estudantes uma aprendizagem significativa. Os resultados dessas pesquisas indicam que quando é dada a oportunidade aos estudantes (em diferentes níveis de instrução) de interagir com diferentes modos semióticos seu desempenho na aprendizagem de Ciências pode ser ampliado e mais abrangente.

Zhang (2016) realizou uma pesquisa etnográfica com professores da Educação Básica nos Estados Unidos com o objetivo de analisar como os múltiplos recursos semióticos, incluindo a linguagem oral, os gestos e produtos visuais estão presentes em aulas expositivas de Ciências. Os estudantes envolvidos na investigação não foram capazes de explicar as diferentes representações e os conceitos científicos utilizando a linguagem cotidiana. A autora afirma que, apesar de os professores utilizarem diferentes modos semióticos durante suas explicações sobre fenômenos e conceitos científicos, existe uma lacuna entre a utilização de múltiplas representações e a habilidade de comunicar e explicar essas situações.

Nichols (2018) desenvolveu uma pesquisa, em seis escolas dos Estados Unidos, com estudantes do ensino secundário, correspondente aos anos finais do Ensino Fundamental no Brasil, envolvendo a abordagem baseada na proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações multimodais para o ensino

de genética. Segundo o autor, em entrevistas realizadas durante a investigação os professores afirmaram que os estudantes se mostravam mais engajados nas atividades e discussões em sala de aula. O autor destaca, ainda, que as aulas nas quais diferentes modos de representação foram usados desenvolviam-se em domínios conceituais mais elevados, em comparação com as aulas em que as múltiplas modalidades estavam ausentes. Esse estudo enfatiza que a abordagem que se concentra na forma e função representacional e no envolvimento dos estudantes na discussão crítica de representações resulta em uma maior compreensão do conhecimento científico. De modo semelhante, Gillies e Baffour (2017) analisaram o uso de representações multimodais por professores, simultaneamente com a linguagem científica. A pesquisa foi desenvolvida na Austrália, em três escolas distintas, com estudantes do ensino secundário. Segundo os autores, os estudantes que experienciaram com seus professores um tempo maior com representações incorporadas para ilustrar pontos ou comunicar informações obtiveram notas superiores em testes que analisavam a apropriação de uma linguagem científica básica para argumentar sobre os conceitos/fenômenos trabalhados.

Yeşildağ Hasançebi e Günel (2013) investigaram quais representações multimodais estudantes do Ensino Superior da Turquia julgavam eficazes na aprendizagem de conteúdos de Física Moderna. Segundo os autores, o contato com diferentes modos semióticos sustentou a compreensão dos universitários e auxiliou no processo de aprendizagem em relação às unidades de Física Moderna. Os sujeitos investigados destacaram os modos semióticos textual e imagem como os mais apropriados para aprender o conteúdo em questão. A investigação permitiu aos autores afirmar que quando são oferecidas oportunidades aos estudantes para analisar e avaliar materiais científicos a partir de uma perspectiva multimodal, eles podem construir uma compreensão concreta do conhecimento de conteúdo, bem como usar representações modais para comunicar ideias entre os pares.

Demirbag e Günel (2014) investigaram, na prática de professores do Ensino Superior nos Estados Unidos, o efeito da integração da abordagem de investigação científica baseada em argumento com representações multimodais sobre os estudantes, em relação a seu desempenho e suas habilidades de argumentação e escrita. As análises revelaram que os estudantes que experienciaram atividades integrando as duas abordagens superaram os estudantes do grupo controle nos testes de desempenho em Ciências, evidenciando desempenhos significativamente mais

altos nos escores de escrita e argumentação. Segundo os autores, as descobertas do estudo mostram evidências do valor da implementação das representações multimodais dentro de um ambiente de aprendizagem baseado em argumentos, para estudantes universitários. Eles argumentam que não apenas os entendimentos científicos dos estudantes foram apoiados pela instrução multimodal, mas também sua capacidade de entender e usar representações multimodais e gerar argumentos de melhor qualidade, elementos essenciais para que estudantes se tornem letrados cientificamente.

Danielsson (2016) investigou como professores de Química do Ensino Secundário na Finlândia, correspondente aos anos finais do Ensino Fundamental e ao Ensino Médio no currículo brasileiro, utilizam representações multimodais no ensino de modelos atômicos. O foco se deu no uso de diferentes modos semióticos ao serem introduzidos os conceitos científicos sobre modelos. De modo semelhante, Klein e Kirkpatrick (2010) analisaram professores que utilizam representações multimodais na construção de novos conhecimentos e na construção de novas representações para desenvolver o conhecimento dos estudantes. Segundo os autores, as representações não transmitem apenas informação científica, mas, sim, são parte integrante do raciocínio sobre fenômenos científicos.

E finalmente, dos 30 trabalhos analisados, os 11 artigos do último grupo abordam pesquisas envolvendo estudantes elaborando representações multimodais em aulas de Ciências. Passamos, a seguir, a comentar esses trabalhos.

Han e Black (2011) analisaram a utilização de uma simulação na criação de uma representação multimodal relacionada ao funcionamento de engrenagens envolvendo 220 estudantes da Educação Básica dos Estados Unidos. Os resultados desse estudo revelam que simulações que exploram o tato, a visão e a audição podem ser mais efetivas que a simulação que não trabalha com o tato. O uso orquestrado dos três sentidos forneceu experiências perceptivas e auxiliou os estudantes na criação de uma representação multimodal dos movimentos das máquinas. O estudo em questão forneceu evidências empíricas para a afirmação de que experiências perceptivas (tato, visão e audição) são capazes de contribuir para uma compreensão conceitual significativa. Essas descobertas sugerem implicações para um ensino bem-sucedido envolvendo conceitos abstratos de Ciência. Segundo os autores, é importante ajudar os estudantes a construir uma base cognitiva sólida, utilizando aspectos perceptíveis pelos sentidos, antes de introduzir os conceitos científicos. A

simulação explorando o tato é única na medida em que imita a força e o movimento cinestésico, o que os estudantes podem sentir quando interagem com objetos físicos (máquinas simples nesse estudo) que, de outra forma, seriam difíceis de experimentar com outras ferramentas de instrução.

Hand, Günel e Ulu (2009) realizaram um estudo, com 700 estudantes da Educação Básica da Turquia, com o objetivo de analisar a elaboração de diferentes representações pelos próprios estudantes para explicar seus entendimentos sobre tópico relacionado à eletricidade. A sequência de desafios representacionais consistiu em três etapas: na primeira os estudantes utilizavam apenas a escrita para representar o conceito; na etapa seguinte eles incluíram expressões matemáticas às representações; na última etapa, inseriram gráficos. Os autores fizeram uma análise quantitativa e compararam estudantes participantes do desafio representacional e um grupo controle. Enquanto os escores dos estudantes investigados não foram estatisticamente diferentes no final da primeira etapa, ao final do segundo estágio os estudantes que foram convidados a incorporar a Matemática em suas representações obtiveram resultados significativamente melhores do que os estudantes do grupo controle. No final do estágio três, havia vários indícios estatísticos evidenciando a vantagem de se utilizar representações matemáticas em conjunto com os textos escritos.

Hackling, Murcia e Ibrahim-Didi (2013) relatam um estudo de caso etnográfico realizado na Austrália com estudantes dos anos iniciais da Educação Básica. Esse estudo de caso aborda uma introdução aos estudos de astronomia e tem como objetivo analisar como os recursos multimodais são usados pelo professor para a coconstrução de uma explicação sobre como o dia se transforma em noite. Os autores destacam, do ponto de vista semiótico, o papel relevante do professor, dos estudantes e dos vídeos no desenvolvimento dos desafios representacionais. Um vídeo da Terra girando ao redor do Sol, uma representação dinâmica e tridimensional, permitiu que os estudantes adotassem uma nova perspectiva, visualizando os movimentos da Terra a partir do espaço em vez de ver o Sol da Terra. Em relação aos sujeitos envolvidos nas atividades, o professor foi responsável por selecionar aspectos-chave de um fenômeno e planejar como utilizar a linguagem como mediadora para guiar os estudantes na geração, negociação, aperfeiçoamento e justificação de representações. Os estudantes, por sua vez, realizaram conexões entre múltiplos

modos semióticos e utilizaram os aspectos-chave dos fenômenos para construção, aperfeiçoamento e justificação das representações elaboradas.

Memiş e Öz (2017) investigaram o impacto do uso de representações multimodais em habilidades de processo científico nas práticas de escrita de 32 estudantes da Educação Básica da Turquia. Os resultados da pesquisa, que mesclou aspectos qualitativos e quantitativos, indicam que utilizar representações multimodais aprimora as habilidades de processo científico dos estudantes. Estratégias de ensino e de aprendizagem em ambientes nos quais ocorre a participação ativa dos estudantes permitem uma melhor estruturação do conhecimento em suas próprias mentes. De acordo com os autores, o fato de os estudantes se tornarem indivíduos cientificamente letrados em alcançar e produzir conhecimento e estarem familiarizados com o pensamento científico nas escolas está relacionado à aprendizagem de conceitos. O uso de representações multimodais permite que os estudantes indiquem os conceitos que aprenderam de diferentes maneiras, pensem sobre o que estão aprendendo e, com isso, possam revisar suas próprias ideias, em um processo metacognitivo de refletir sobre a própria aprendizagem.

Tang, Delgado e Moje (2014) analisaram o significado de Ciência para estudantes que trabalharam com representações multimodais. A análise das atividades que foram acompanhadas pelos pesquisadores indica que quando o professor destina um tempo maior para que os estudantes construam suas representações, eles tendem a rerrepresentar fenômenos e conceitos com maior frequência do que quando o tempo é restrito. De acordo com os autores, isso leva a um número mais expressivo de modos circulando em sala de aula, o que faz com que os estudantes tenham experiência com uma variedade maior de formas de explicar o mesmo conceito/fenômeno e também que ao professor sejam ofertadas amplas possibilidades de aprendizado. O fato de os estudantes experienciarem práticas científicas autênticas a partir da utilização de representações multimodais ampliou sua visão sobre a Ciência enquanto construção social.

Blown e Bryce (2010) realizaram pesquisas etnográficas na China e na Nova Zelândia e, dentre outros pontos, investigaram se a coerência conceitual pode ser relacionada ao uso de representações multimodais por estudantes, em uma faixa etária de dez a 12 anos, no cenário do ensino de Ciências. Segundo os autores, a coerência conceitual que os estudantes alcançaram estava relacionada aos padrões de elevada correlação das representações de um conceito e aos meios utilizados para

avaliar a compreensão dos assuntos. A coerência conceitual, segundo eles, foi identificada levando em conta a consistência na representação desses conceitos por meio das múltiplas modalidades e a melhor compreensão e habilidade conceitual foi identificada nas entrevistas repetidas ao longo da pesquisa.

Williams, Tang e Won (2019) investigaram o uso de representações multimodais em aulas de Ciências e como essa estratégia contribuiu para a construção de conceitos científicos por estudantes imersos em um sistema bilíngue de ensino. Segundo os autores, os sujeitos participantes da pesquisa, estudantes do quinto ano do Ensino Básico de Hong Kong, tiveram a oportunidade de construir representações para diferentes fenômenos estudados. Essas representações foram compartilhadas com a turma e as explicações científicas foram construídas nesses momentos de compartilhamento entre estudantes e professor. Os autores destacaram ainda que diferentes modos semióticos auxiliaram na compreensão de distintos aspectos de um conceito científico, de forma que a variedade de modos garantiu uma compreensão mais abrangente dos conceitos e fenômenos estudados.

Hubber, Tytler e Haslam (2010) descrevem uma sequência de aulas com foco nas representações multimodais e suas negociações, e relatam a eficácia dessa perspectiva na orientação do ensino e na aprendizagem dos estudantes. Com base nos dados analisados os autores defendem a necessidade de mudança da prática de ensino de Ciências com foco nos produtos da Ciência para práticas pedagógicas que valorizam as representações multimodais. Eles argumentam que isso exigirá mudanças nas concepções do papel do professor na sala de aula e mudanças na forma como o conhecimento e a aprendizagem são pensados na Ciência. Para que essa mudança ocorra, é preciso que os professores: entendam o papel da representação no aprendizado da Ciência, o que implica tanto em uma mudança pedagógica quanto em uma mudança epistemológica; forneçam um ambiente rico em representações e oportunidades para os estudantes negociarem, integrarem, refinarem e traduzirem essas representações; tornem explícito aos estudantes o papel da representação na aprendizagem da Ciência; e conceituem a aprendizagem na Ciência em termos de indução dos estudantes nas práticas representacionais da Ciência e na capacidade de coordená-las. Segundo os autores, consideradas as preocupações atuais em relação ao engajamento dos estudantes na aprendizagem significativa da Ciência e o sucesso relativamente limitado das abordagens pedagógicas baseadas apenas no caráter cognitivo da aprendizagem, essa é uma

agenda que precisa ser vigorosamente perseguida tanto na pesquisa quanto na política.

Wilson (2013), baseado nos estudos de semiótica social, descreveu e categorizou os modos semióticos usados pela maioria dos estudantes de uma escola norte-americana ao longo de um ano letivo. Três professores de Ciências foram propositalmente selecionados para participar desse estudo porque eram reconhecidos como professores inovadores que tornavam seus conteúdos acessíveis a diversos estudantes. A autora, ao observar os estudantes das classes desses professores, identificou os seguintes modos semióticos: gesto, representação incorporada, movimento de objetos em superfícies planas, movimento de objetos pelo espaço tridimensional, representações materiais e de fenômenos observados. Esses modos semióticos foram categorizados por Wilson (2013) em três grupos: utilização do corpo, materialização e movimento com objetos. Segundo a autora, os professores envolvidos perceberam esses modos como ferramentas úteis em suas instruções e os solicitavam com regularidade durante a mediação dos desafios representacionais. Os professores valorizavam os modos que envolviam a utilização do corpo para facilitar as conexões com o mundo exterior, favorecer uma sensação de “poder” na moldagem aos estudantes e para promover engajamento. Segundo a autora, no entanto, os professores reconheceram alguns pontos negativos em relação a esses modos. A espontaneidade e a sua curta duração não permitiam que os estudantes revisitassem as representações, de forma idêntica, quando julgavam necessário. De acordo com esses professores, esse tipo de representação é mais difícil de ser trabalhada em termos de coerência conceitual.

Hand e Choi (2010) investigaram o uso de diferentes representações multimodais em argumentos escritos por estudantes universitários. O uso das representações multimodais pelos estudantes foi analisado examinando-se as combinações de texto escrito, gráficos, tabelas, figuras, diagramas, estrutura e equações matemáticas ou químicas durante aulas de laboratório de Química Orgânica, no contexto do conteúdo de Reações Químicas. Com base em uma análise estatística dos dados, os autores inferiram que os estudantes que obtiveram uma pontuação alta para representações multimodais também construíram argumentos de alta qualidade. Ou seja, os estudantes que puderam experimentar várias representações multimodais em suas atividades foram capazes de fazer conexões fundamentadas para apoiar suas afirmações e construir um argumento coeso. Além

disso, houve vigorosas correlações entre a pontuação do exame laboratorial e a qualidade do argumento. Esse estudo sugere a necessidade de construir estruturas de apoio pedagógico para o indivíduo, a fim de ajudar os estudantes a compreenderem o papel e a função das representações multimodais na Ciência.

Finalmente, no último trabalho entre os trinta da nossa revisão, único artigo empírico de autoria nacional, Quadros e Giordan (2019) analisaram as estratégias usadas por uma professora de Química da Educação Básica para auxiliar os estudantes na construção de representações envolvendo o modelo cinético molecular. Segundo os autores, a professora cuja aula foi analisada explorava as representações construídas pelos estudantes solicitando que eles explicassem as opções escolhidas para representar os três fenômenos produzidos em três experimentos, de forma a aproximá-las das representações canônicas. Os autores afirmam que o envolvimento ativo dos estudantes na elaboração, comunicação, negociação e reelaboração de representações contribuiu para o entendimento tanto do papel da representação quanto do modelo cinético molecular. Quadros e Giordan (2019) construíram uma rota de transição modal na qual mostram os diferentes modos semióticos usados pela professora ao longo da aula.

De um modo geral, os trabalhos que compuseram essa revisão da literatura específica contemplam diferentes aspectos da abordagem baseada na proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações multimodais. Alguns artigos relacionam essa abordagem com distintas abordagens contemporâneas de ensino que valorizam o protagonismo dos estudantes. Encontramos, também, publicações de pesquisas que buscam discutir reformulações curriculares em cursos de licenciatura, abarcando abordagens que valorizam a utilização de diferentes modos semióticos; pesquisas que têm como foco a formação de professores de um modo geral; e trabalhos que investigaram a forma como avaliações sistêmicas são elaboradas, tendo como foco analisar a utilização ou não de representações multimodais.

A maior parte dos artigos analisa a elaboração de representações por professores (sete) e por estudantes (18) em aulas de Ciências. É unânime entre os autores desses artigos que a utilização de representações multimodais engaja os estudantes nas atividades propostas e os auxilia na compreensão de conceitos e fenômenos científicos. Entretanto, a literatura ainda é escassa em trabalhos que relatem a compreensão de como os desafios representacionais interferem no

processo de aprendizagem dos estudantes, e que analisem como professores utilizam a linguagem como mediadora nas atividades de desafios representacionais e como estudantes utilizam a linguagem e múltiplos modos semióticos para se comunicarem entre os pares. Além disso, de todos os trabalhos empíricos presentes em nossa revisão de literatura, apenas um relata um contexto educacional brasileiro, o que evidencia a pouca inserção dessa abordagem nas aulas de Ciências de escolas brasileiras.

Nossa pesquisa também usa as representações multimodais em aulas de Ciências e de Química da Educação Básica. Temos como hipótese que, no contexto brasileiro, as representações informais podem ser exploradas e irão auxiliar os estudantes a construir as representações formais. Com isso, julgamos importante compreender as etapas presentes no processo de elaboração de representações e o papel mediador da linguagem entre professores e estudantes e, nesse sentido, assimilar como auxiliam no refinamento das representações elaboradas e no entendimento conceitual.

CAPÍTULO 03: PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA

A pesquisa em questão foi organizada em torno de uma abordagem metodológica qualitativa e teve como objetivo central analisar as contribuições de um trabalho desenvolvido com representações multimodais em aulas de Ciências e de Química da Educação Básica.

De acordo com Bogdan e Biklen (1994), as pesquisas qualitativas possuem caráter mais descritivo. O foco do pesquisador qualitativo está no processo e não apenas nos resultados obtidos em sua pesquisa. As abstrações são construídas à medida que os dados coletados são reunidos. Em uma pesquisa de caráter qualitativo, os pesquisadores geralmente questionam os sujeitos pesquisados, de modo a compreender as experiências vividas por eles, relacionadas ao objeto de pesquisa em questão.

Esta pesquisa desenvolveu-se em dois contextos escolares distintos: em uma turma do nono ano do Ensino Fundamental e em uma turma do primeiro ano do Ensino Médio. Em ambas as escolas as pesquisadoras acompanharam as aulas de Ciências e de Química por um período de seis meses. Para analisar as contribuições de um trabalho desenvolvido com representações multimodais foi necessário observar e descrever um conjunto de aulas de cada escola, em busca de um entendimento de como os estudantes lidam com as representações multimodais e em que passo as atividades envolvendo representações favorecem a apropriação de conhecimento científico. O acompanhamento de dois ambientes escolares por um período prolongado permitiu analisar o processo de desenvolvimento de desafios representacionais e como os sujeitos envolvidos, professoras e estudantes, interagem com essa proposta. Embora o aporte teórico que embasou essa pesquisa e a nossa experiência como educadoras tenha permitido a construção prévia de algumas hipóteses para as questões de pesquisa, ao longo da análise essas hipóteses foram se confirmando e entendimentos mais concretos foram construídos.

Passamos agora a explicitar o contexto de realização deste trabalho, caracterizando as escolas e os participantes da pesquisa, assim como retratando o conjunto de aulas que compôs a análise de dados apresentada nesta tese. Em seguida, descrevemos o processo de produção e análise de dados.

3.1 Questões de pesquisa

Para a construção das questões de pesquisa que nortearam esta tese partimos da hipótese de que a inserção de representações informais, não comumente utilizadas em aulas de Ciências e Química da Educação Básica, favorece o processo de construção de representações formais, contribuindo para o processo de aquisição de conceitos científicos e o entendimento de fenômenos.

Dessa forma, buscamos compreender, como questão principal de pesquisa, “Como a abordagem de ensino baseada na proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações contribui para o entendimento de conceitos científicos.”

Para auxiliar na resposta à questão principal, formulamos as seguintes questões específicas:

- Como os estudantes utilizam a linguagem e outros modos semióticos para mediar o processo de comunicação entre os pares durante a construção de representações multimodais?
- Como o questionamento adequado das professoras serve como mediação entre aquilo que os estudantes propõem e a forma canônica de representar conceitos e fenômenos científicos?
- Como as representações informais, não comumente utilizadas em aulas de Ciências e de Química, auxiliam os estudantes na apropriação de representações formais?
- Quais as contribuições das representações multimodais para a apropriação dos conceitos científicos pelos estudantes?

3.2 O contexto da pesquisa

Parte deste trabalho foi desenvolvido em uma turma de nono ano do Ensino Fundamental, em uma escola privada da região metropolitana de Belo Horizonte-MG. A escola em questão foi fundada há mais de 30 anos e possui uma turma de cada série. As aulas do nono ano acontecem no período da manhã e a grade curricular contempla cinco aulas semanais de Ciências, de 50 minutos cada, sendo três dessas aulas destinadas a uma apresentação de um conteúdo de Química, em uma

perspectiva introdutória. A turma de nono ano, participante da pesquisa, era composta por 22 estudantes, com idade entre 14 e 16 anos.

A professora responsável pela disciplina nessa escola possui em torno de dez anos de experiência docente, é licenciada em Química, mestre em Educação, com dissertação apresentada na linha de pesquisa de Ensino de Ciências, e está envolvida na pesquisa de tendências contemporâneas de ensino e desenvolvimento de iniciativas que valorizam o protagonismo dos estudantes em aulas de Ciências desde sua graduação. A professora é, também, a pesquisadora principal envolvida nesta pesquisa, o que caracteriza sua atuação como observadora participante. A nosso ver, a familiaridade da pesquisadora com os sujeitos investigados e o ambiente escolar não é um fator que compromete o desenvolvimento da pesquisa, e, sim, auxilia o processo de produção de dados, tendo em vista que ela tem consciência dos objetivos da pesquisa, conhece os estudantes e a dinâmica da escola e já possuía, à época da produção de dados, uma relação de confiança com os estudantes.

Whyte (2005) e Gil (2010) argumentam que a observação participante permite uma visão mais ampla da comunidade estudada e supõe interação entre o pesquisador e os sujeitos pesquisados. Marques (2016) afirma que é uma ilusão pensar em uma total neutralidade em uma pesquisa de campo. No momento em que um pesquisador que nunca teve contato com determinada turma de estudantes entra em sala de aula para observar e produzir dados ele já interferiu na dinâmica daquela turma de estudantes. Admitimos, portanto, que a pesquisa qualitativa com características de observação participante no contexto educacional guarda certo grau de subjetividade, mas isso não quer dizer que admitimos que o subjetivismo interfira, direcionando os dados produzidos em tal pesquisa. Para tanto, o pesquisador deve se apropriar de procedimentos teóricos e metodológicos adequados à realidade educacional que busca compreender, de forma a garantir que sua proximidade com o ambiente pesquisado não irá interferir negativamente no desenvolvimento da pesquisa.

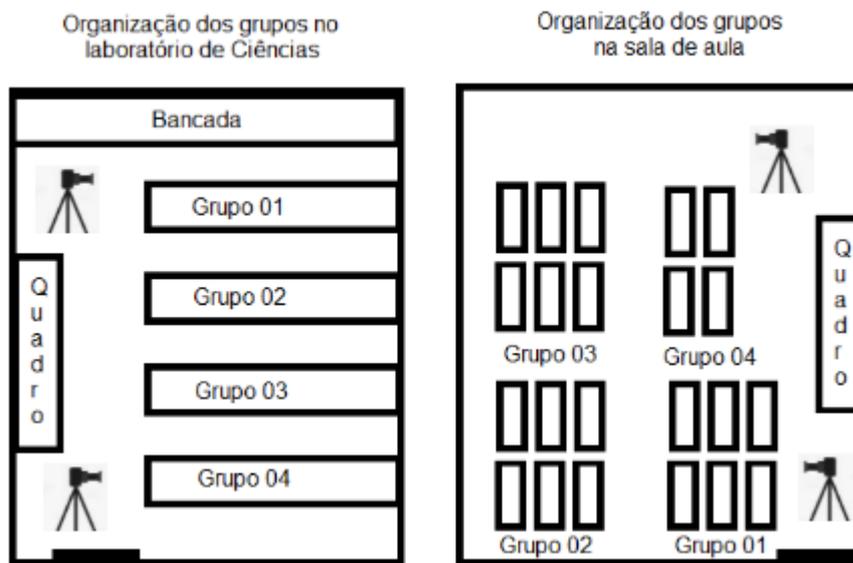
O nono ano da Educação Básica, na escola em que se deu a produção de dados, representa o primeiro contato dos estudantes com o ensino formal de Química, suas representações, conceitos e modelos. Acreditamos que essa etapa do processo de instrução formal é uma oportunidade de apresentar a Química de forma investigativa e contextualizada com a realidade dos estudantes. O nono ano tem, portanto, a tarefa de prover os estudantes com conceitos básicos e explorar a

linguagem específica da área e suas representações e modelos mais simples, para que esses indivíduos ingressem no Ensino Médio com uma bagagem que possibilite avançar nos estudos do campo da Química.

A escola possui um laboratório de Ciências, local onde as atividades experimentais são realizadas, e permite uma flexibilidade metodológica aos professores, que têm liberdade para escolher qual abordagem utilizar durante suas aulas. Entretanto, a escola utiliza como material didático as apostilas do Sistema de Ensino Bernoulli (MACHADO; RAGGAZZI; GUEDES, 2019). Esse material didático apresenta, já no nono ano, uma carga de conteúdo extensa e um aprofundamento conceitual mais comumente trabalhado no Ensino Médio. O material didático dispõe, ao término de cada tópico, de questões típicas de processos seletivos externos, como as antigas questões de vestibulares e as do ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio). Com isso, fica implícito que o professor tem uma liberdade metodológica, mas precisa manter o compromisso de trabalhar todo o conteúdo presente no material didático dos estudantes.

Com isso, o conteúdo científico em que foram exploradas as representações multimodais nessa escola foi escolhido considerando o interesse da escola e o da pesquisadora, em um processo negociado. Os estudantes foram organizados em grupos fixos e as atividades envolvendo desafios representacionais foram realizadas nesses grupos. A Figura 06, a seguir, mostra a disposição desses grupos no laboratório de Ciências e na sala de aula, os dois ambientes onde as atividades em questão foram desenvolvidas.

Figura 06: Organização dos grupos no laboratório de Ciências e na sala de aula



Fonte: Elaborado pela autora.

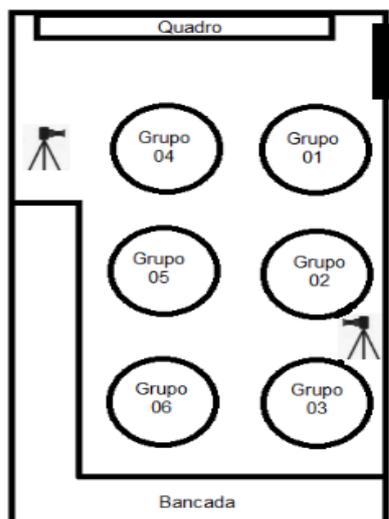
Uma investigação com o mesmo foco ocorreu em uma escola técnica federal da região metropolitana de Belo Horizonte, em uma turma do primeiro ano do Ensino Médio. A escola é referência em todo o estado de Minas Gerais por seu ensino de excelência, e o processo seletivo para ingresso na instituição é muito concorrido. Parcela significativa de seus estudantes estudaram em cursos preparatórios e apresentam, de um modo geral, um bom repertório de conteúdos básicos da disciplina de Química.

As aulas da turma participante da pesquisa aconteceram no período da tarde, e a grade curricular contemplava duas aulas semanais de Química, cada aula com duração de uma hora e quarenta minutos. Trinta estudantes, com idade entre 15 e 18 anos, faziam parte da turma, e pertenciam aos cursos técnicos de Informática, Eletrônica e Mecânica. A professora responsável pela disciplina nessa escola é licenciada e bacharel em Química, doutora em Educação e possui mais de 30 anos de experiência docente na Educação Básica. Ela atua como orientadora no programa profissional de pós-graduação em Educação, na linha de Ensino de Ciências, e é autora de um livro didático de Química embasado em tendências contemporâneas de ensino que valorizam o protagonismo dos estudantes.

A escola possui salas-laboratório, equipadas com bancadas, pias e mesas grandes, o que permite que os estudantes possam organizar-se em grupos. Esses grupos eram fixos, e todas as atividades desenvolvidas nas aulas de Química foram

realizadas nessa configuração. A Figura 07, a seguir, mostra a disposição desses grupos na sala-laboratório.

Figura 07: Organização dos grupos na sala de aula-laboratório



Fonte: Elaborado pela autora.

3.3 A proposta de trabalho: a organização com as professoras e o conteúdo

Para desenvolver esta pesquisa optamos por considerar as aulas de duas professoras de Química da Educação Básica. Para selecionar essas professoras, voltamos nossa atenção à prática docente e buscamos educadoras que possuíssem uma prática embasada em estratégias que valorizassem a participação dos estudantes na construção do conhecimento e que tivessem alguma experiência com a utilização de representações em suas aulas.

As professoras receberam orientações sobre como instruir um grupo de estudantes no processo de construção, negociação, refinamento e justificação de representações em aulas regulares de Ciências e de Química. Essas orientações foram repassadas a elas em reuniões anteriores às aulas usadas para produção de dados e, também, nos intervalos entre uma e outra aula. Nessas reuniões compartilhamos ideias e conceitos-chaves sobre o referencial teórico adotado, relacionados às representações multimodais, e estudos envolvendo a mediação na construção de representações pelos estudantes. Esses momentos também foram utilizados para organização das sequências de atividades pertinentes aos desafios representacionais, observado que em ambas as turmas as professoras adaptaram o material didático adotado pela instituição para a construção do percurso didático

envolvendo os desafios representacionais. E por fim, essas reuniões foram um espaço de socialização de observações oriundas do acompanhamento da prática docente e para *feedbacks* entre as pesquisadoras e as professoras no decorrer da produção de dados.

As aulas da turma de nono ano foram acompanhadas durante o primeiro semestre do ano letivo de 2019, de fevereiro a julho. Nesse intervalo de tempo foram trabalhados os seguintes conteúdos: introdução à Química, estrutura atômica, classificação periódica dos elementos químicos, ligações químicas, geometria molecular e polaridade das moléculas. A seguir descreveremos o conjunto de aulas que fizeram parte da análise de dados deste trabalho, referentes aos conteúdos de geometria molecular e polaridade das moléculas. Durante a maior parte dessas aulas a professora utilizou a abordagem baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais.

Os conteúdos de geometria molecular e polaridade das moléculas foram trabalhados em um conjunto de oito aulas, de 50 minutos cada. Como já dissemos, esse conteúdo foi fruto de negociação entre a escola e a pesquisadora, que no momento da produção de dados também era professora na instituição. Na Aula 01, a professora explicou, do ponto de vista da Química, o significado do termo “geometria molecular” e como iriam proceder para compreender como as moléculas organizam-se no espaço. Ela retomou o tópico relativo ao tipo de ligação química que forma moléculas – a ligação covalente – e explicou a teoria de repulsão dos pares de elétrons da camada de valência. A professora solicitou que os estudantes construíssem representações da estrutura de Lewis, e em seguida outra representação, à escolha dos estudantes, da geometria de uma das seguintes moléculas: hidrogênio (H_2), cloreto de berílio ($BeCl_2$), trifluoreto de boro (BF_3), metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), metanal (CH_2O), amônia (NH_3) e água (H_2O). Esse conjunto de moléculas faz parte do conteúdo presente no capítulo de geometria molecular do material didático adotado pela instituição e representa os tipos mais comuns de geometria molecular, permitindo uma ampla discussão sobre a organização espacial das espécies envolvidas.

Nas aulas 02 e 03 os estudantes realizaram uma atividade com balões de festa para simular a geometria das moléculas trabalhadas na aula anterior. Essa atividade foi adaptada do material didático utilizado pela instituição. Os estudantes foram informados que os balões correspondiam aos pares de elétrons compartilhados entre

dois átomos ou pares de elétrons não ligantes. Com base na organização espacial dos balões, eles formularam suas representações iniciais para a geometria das moléculas. Em seguida, socializaram suas representações, e em alguns momentos, utilizaram o corpo para representar para a turma a geometria da molécula em questão.

Na Aula 04 os estudantes continuaram a socialização das representações construídas nas aulas 02 e 03. Em seguida, a professora realizou a correção de exercícios de fixação, do material didático, envolvendo a representação de Lewis e a geometria de moléculas, atividades que os estudantes realizaram em casa de forma autônoma.

Na Aula 05 a professora apresentou as representações canônicas do conjunto de moléculas estudadas, por meio de um simulador virtual. Em seguida, os estudantes puderam manusear livremente essa ferramenta.

Na Aula 06 os estudantes realizaram exercícios de fixação presentes no material didático envolvendo a geometria de moléculas, e a professora fez a correção desses exercícios.

Na Aula 07 a professora iniciou uma sequência de atividades para trabalhar a polaridade das moléculas, iniciada com a exploração do conceito de polaridade de ligações e das formas de representar esse conceito e, a seguir, com os estudantes foi construído o conceito de polaridade das moléculas e algumas possíveis representações. A professora retomou o conceito de polaridade das ligações, trabalhado com os estudantes no contexto de ligação covalente, e a representação da polaridade das ligações. Os estudantes realizaram um experimento de atração eletrostática, utilizando uma régua eletrizada e pequenos pedaços de papel. Em seguida, eles socializaram suas percepções e construíram, juntos, uma explicação para o fenômeno observado.

Na Aula 08 os estudantes realizaram outro experimento de atração eletrostática. Dessa vez, uma régua atritada foi aproximada de um feixe de água fluindo de uma seringa e, em seguida, o procedimento foi repetido com o uso de óleo mineral. Logo após, os estudantes socializaram suas percepções e tentativas de explicação do fenômeno observado. A professora retomou a representação da polaridade de algumas moléculas para buscar explicações do experimento realizado.

De modo semelhante, acompanhamos o primeiro semestre do ano letivo, de fevereiro a julho de 2019, na turma de primeiro ano. Nesse intervalo de tempo foram trabalhados os conteúdos relacionados ao modelo cinético molecular, modelos

atômicos, tabela periódica e transformações químicas. Passamos agora a descrever o conjunto de aulas que fizeram parte da análise de dados deste trabalho, aulas essas que abordaram o modelo cinético molecular e as transformações químicas.

Os conteúdos do modelo cinético molecular foram trabalhados em um conjunto de seis aulas, de uma hora e quarenta minutos cada. Na Aula 01 a professora retomou os triângulos que abordam os conhecimentos químicos (propriedade, constituição e transformação da matéria), de acordo com os autores do livro didático adotado pela instituição (MORTIMER; MACHADO, 2012), e promoveu uma discussão do conceito de modelos na Ciência. Em seguida, os estudantes realizaram uma atividade envolvendo os estados físicos da matéria. Nessa atividade os estudantes foram instigados a definir as características dos três estados físicos da matéria e a criar critérios para classificar uma série de materiais segundo esses aspectos.

Na Aula 02 a professora corrigiu as atividades da aula anterior e discutiu os critérios utilizados pelos estudantes para classificar os compostos em sólido, líquido e gasoso. Em seguida, os estudantes realizaram os experimentos de compressão do ar contido em uma seringa e de aquecimento do ar dentro de um erlenmeyer no qual um balão tinha sido acoplado. Após a realização dos experimentos, os estudantes construíram e socializaram as representações dos fenômenos observados.

Na Aula 03 os estudantes realizaram uma teatralização, representação utilizando o corpo, do fenômeno de compressão do ar contido em uma seringa e do aquecimento do ar dentro de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado e, em seguida, estudantes e professora discutiram a teatralização. Os estudantes elaboraram uma representação em forma de desenho para difusão de um gás, realizaram uma teatralização do fenômeno e socializaram as diferentes formas de representação.

Na Aula 04 os estudantes realizaram o experimento de dilatação de um líquido no capilar de um termômetro, construíram e socializaram as representações, e novamente realizaram uma teatralização do fenômeno observado, ou seja, da dilatação de um líquido. Os estudantes construíram e socializaram representações para o estado sólido, líquido e gasoso. Em seguida, eles realizaram exercícios sobre o modelo cinético molecular.

Na Aula 05 a professora retomou as principais características do modelo cinético molecular, corrigiu os exercícios da aula anterior, e os estudantes reelaboraram as representações, em forma de desenho, de todos os fenômenos

investigados nesse conjunto de aulas. Na Aula 06 eles realizaram uma avaliação experimental envolvendo o conteúdo do modelo cinético molecular e, em seguida, apresentaram para a turma um experimento que fazia parte da avaliação e explicaram o fenômeno em questão.

O conteúdo de transformações químicas foi trabalhado em um conjunto de oito aulas, de uma hora e quarenta minutos cada. Na Aula 01 a professora explicou o que são evidências de uma reação química, e em seguida os estudantes realizaram alguns experimentos com evidências macroscópicas de reações químicas (mudança de cor e liberação de gás). Os estudantes foram convidados a representar as reações químicas usando desenhos e equações químicas. Na Aula 02 eles realizaram atividades envolvendo as evidências de reações químicas referentes aos experimentos realizados na Aula 01. Na Aula 03 a professora corrigiu as atividades que tratavam das evidências de reações químicas e solicitou que os estudantes, com base nos exemplos de reações químicas investigados na Aula 01, presumissem e representassem os produtos de reações de neutralização, utilizando diferentes tipos de representações, à escolha deles. Na Aula 04 a professora corrigiu as atividades relacionadas às evidências de reações químicas e solicitou que os estudantes, com base nos exemplos de reações químicas investigados na Aula 01, presumissem e representassem os produtos de reações de oxidação, utilizando diferentes tipos de representações, à escolha deles.

Na Aula 05 os estudantes iniciaram o estudo da conservação de massa em uma reação química. Os estudantes realizaram alguns experimentos em sistemas abertos e fechados com o intuito de investigar a variação ou não de massa no sistema. Na Aula 06 os estudantes realizaram atividades relacionadas à conservação de massa, objeto da Aula 05, sendo essas atividades corrigidas pela professora. A professora e os estudantes realizaram também a leitura compartilhada e comentada de um texto sobre transformações químicas e a conservação de massa nesses processos. Nas aulas 07 e 08, respectivamente, os estudantes resolveram exercícios sobre o tema que constaram de exames e processos seletivos, e a professora corrigiu essas atividades. A análise das aulas dessa professora se deu, prioritariamente, em relação às aulas de modelo cinético molecular. Ressaltamos que as aulas do conteúdo de reações químicas foram analisadas com o intuito de verificar se as representações usadas no conteúdo relativo ao modelo cinético molecular estavam sendo resgatadas pelos estudantes ao representarem as reações químicas.

3.4 O processo de produção e análise de dados

Como já dissemos, houve o acompanhamento de aulas de duas professoras participantes da pesquisa, por um período de seis meses, de fevereiro a julho de 2019. Essas aulas foram registradas em vídeo e em áudio. As atividades envolvendo os desafios representacionais foram realizadas com os estudantes organizados em pequenos grupos. Para isso, duas câmeras de vídeo foram instaladas em pontos estratégicos de cada uma das salas de aula (conforme ilustram as Figuras 06 e 07), e gravadores de voz foram utilizados para registrar, em cada grupo, as discussões entre os estudantes durante o desenvolvimento das atividades.

Considerando que, ao longo dos desafios representacionais, os estudantes propuseram representações que compartilharam com os pares e as professoras e se envolveram em um processo negociado de reelaboração e de construção de significados, podemos dizer que a avaliação se deu ao longo de todo esse processo, uma vez que era possível perceber o engajamento e a apropriação de conceitos e de representações durante o processo.

O processo de observação é um registro de dados visíveis e de interesse da pesquisa. Uma observação controlada e sistemática se torna um instrumento confiável de investigação científica. Ela se concretiza com um planejamento adequado, preparação prévia do pesquisador e registro escrito de momentos relevantes (LÜDKE; ANDRÉ, 1986). Com o avanço da tecnologia a observação ganhou um aliado, o registro de vídeo, que possibilita examinar e interpretar os dados produzidos repetidas vezes, e também permite que outros pesquisadores ou colaboradores possam fazer uso do material produzido (KENSKI, 2003).

Os vídeos das aulas observadas foram assistidos integralmente e as aulas, organizadas em mapas de episódios (Anexos 01, 02 e 03), considerando três campos: intervalo de tempo, descrição e observações. No campo “Intervalo de tempo” demarcamos os intervalos de cada atividade apresentada no campo “Descrição”. E no campo “Observação” indicamos os momentos da aula em que os estudantes se envolveram em desafios representacionais. Para facilitar a análise transcrevemos os diálogos ocorridos nesses trechos e alinhamos as imagens de registros das representações elaboradas pelos estudantes ao longo dos desafios representacionais com os respectivos trechos de aulas. Optamos por registrar as transcrições de falas na norma culta da língua portuguesa e utilizar pontuação para sistematizar os

momentos de pausa na fala dos estudantes e das professoras, assim como a entonação indicativa de exclamações e interrogações. Para isso os trechos das aulas transcritos foram assistidos repetidas vezes. Ainda que a pontuação seja uma inferência das pesquisadoras, acreditamos que dessa forma a leitura das transcrições torna-se mais fluida, até por entendermos que essa escolha não acarreta interferências significativas na análise dos dados, vez que o uso ou não uso da norma culta no discurso oral não tem relação com essa análise.

Com os vídeos e as transcrições em mãos, voltamos o nosso olhar para os objetivos da pesquisa. Analisamos o envolvimento dos estudantes nos desafios representacionais e buscamos evidências que pudessem nos auxiliar a perceber se eles se apropriaram dos conhecimentos presentes nas representações construídas e, também, dos conceitos e ideias chaves inerentes a essas representações. Para isso, analisamos como os estudantes utilizaram a linguagem e outros modos semióticos para mediar o processo de comunicação entre os pares durante a construção de representações e como o questionamento adequado das professoras serviu como mediação entre aquilo que os estudantes propuseram e a forma canônica de representar. Analisamos como a construção, a negociação, o refinamento e a justificação de representações informais, não comumente utilizadas em aulas de Ciências e de Química, auxiliaram os estudantes na apropriação de representações formais, mais comumente utilizadas nas aulas de Ciências. Finalmente, identificamos e analisamos as contribuições dessa abordagem para a apropriação dos conceitos científicos pelos estudantes.

Durante a análise dos dados produzidos sentimos a necessidade de entender algumas opções de uma das professoras participantes da pesquisa, o que nos levou a realizar uma entrevista semiestruturada, na qual a educadora foi indagada sobre decisões e escolhas tomadas durante a realização das atividades envolvendo as representações multimodais.

A entrevista semiestruturada é orientada por um roteiro flexível, que permite a ampliação dos questionamentos na medida em que as informações são fornecidas pelo sujeito entrevistado. Para a elaboração do roteiro da entrevista considera-se a vivência do pesquisador e o referencial teórico adotado na pesquisa. É indicado o uso de gravador ao realizar uma entrevista, de modo a ampliar o poder de registro e captação de elementos de comunicação, como pausas de reflexão e entonação de

voz, melhorando a compreensão da narrativa (MANZINI, 1991). A entrevista com a professora foi realizada em uma plataforma virtual, gravada em áudio e vídeo.

Essa entrevista foi integralmente transcrita e sua análise se deu no sentido de entender algumas opções da professora, durante as aulas, que não condiziam com o que havia sido planejado em conjunto com as pesquisadoras.

Durante a realização desta pesquisa todos os preceitos éticos foram tomados, atendendo às orientações do Comitê de Ética em Pesquisa (COEP). As professoras e os estudantes participantes da pesquisa receberam e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), que faz referência aos objetivos da pesquisa, ao direito ao anonimato e ao uso de dados única e exclusivamente para fins acadêmicos. Os responsáveis pelos estudantes menores de idade receberam e assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), e os estudantes com idade entre 15 e 17 anos receberam e assinaram um Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE). Dessa forma, as fotos dos estudantes foram substituídas por desenhos, e nas transcrições de fala usamos nomes fictícios para os estudantes das duas instituições, de maneira a garantirmos o anonimato dos sujeitos participantes da pesquisa.

CAPÍTULO 04: DESAFIOS REPRESENTACIONAIS NO ENSINO DE GEOMETRIA E POLARIDADE DAS MOLÉCULAS

O conteúdo de geometria molecular e polaridade das moléculas contemplou um conjunto de oito aulas de 50 minutos em uma turma de nono ano do Ensino Fundamental. As aulas foram organizadas em torno de desafios representacionais e a professora – nesse caso a própria pesquisadora – conjugou aulas com abordagem baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais a aulas expositivas dialogadas.

O Quadro 02 traz uma breve descrição das atividades desenvolvidas nesse conjunto de aulas.

Quadro 02: Descrição das atividades desenvolvidas no conjunto de aulas analisados

Aula	Descrição das atividades desenvolvidas na aula
01	Explicação do significado de “geometria molecular”. Atividade proposta: construção de representações da estrutura de Lewis e de representações da geometria de um conjunto de moléculas.
02 e 03	Atividade proposta: construção de representações da geometria do conjunto de moléculas trabalhados na Aula 01, utilizando a lousa e balões, seguida do compartilhamento dessas representações.
04	Atividade proposta: continuação do compartilhamento das representações construídas nas aulas 02 e 03. Correção dos exercícios de fixação, do material didático, sobre a representação de Lewis e a geometria de moléculas.
05	Apresentação das representações canônicas do conjunto de moléculas estudado em um simulador virtual. Atividade proposta: manuseio livre de um simulador virtual.
06	Atividade proposta: exercícios de fixação, do material didático, sobre a geometria de moléculas. Correção dos exercícios.
07	Revisão/retomada do conceito de polaridade de ligações e das representações do conceito. Atividade proposta: experimento de atração eletrostática (régua eletrizada e pedaços pequenos de papel).
08	Atividade proposta: experimento de atração eletrostática (régua atritada e um feixe de água/óleo fluindo de uma seringa).

Fonte: Elaborado pela autora.

Organizamos a análise dessas aulas em função dos conteúdos abordados, tratados a seguir.

4.1 Geometria molecular

Inicialmente, a professora explicou, do ponto de vista da Química, o significado do termo “geometria molecular” e como iriam proceder para compreender como as moléculas organizam-se no espaço. Em seguida ela retomou o tópico relacionado ao tipo de ligação química que forma moléculas, a ligação covalente⁴, e explicou a teoria de repulsão dos pares de elétrons da camada de valência⁵, considerando ser indicado que os estudantes entendam essa repulsão, em diferentes moléculas, para que possam compreender como as moléculas organizam-se no espaço.

Ao recapitular os princípios da ligação covalente e as diferentes formas de representar o compartilhamento de elétrons, a professora retomou a estrutura de Lewis⁶ e a de traços⁷, e solicitou que os estudantes, organizados em grupos, construíssem a estrutura de Lewis de um grupo de moléculas. Optamos por selecionar o conjunto de moléculas presentes no material didático adotado pela escola, por serem moléculas simples que ilustram cada tipo de geometria molecular. Dessa forma os estudantes poderiam recorrer, em momentos posteriores, aos modelos canônicos de cada geometria molecular das mesmas moléculas com as quais realizaram os desafios representacionais. Para a análise dos desafios representacionais destacamos as representações e as possíveis reelaborações das seguintes moléculas: cloreto de berílio (BeCl_2), trifluoreto de boro (BF_3), metanal (CH_2O), metano

⁴**Ligação covalente** é uma ligação química caracterizada pelo compartilhamento de um ou mais pares de elétrons entre átomos (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018, p. 57).

⁵**A teoria de repulsão dos pares de elétrons da camada de valência** é um modelo criado pela Ciência que auxilia a prever a geometria molecular por meio da repulsão eletrostática dos elétrons da camada de valência. Essa teoria parte da premissa de que os pares de elétrons da camada de valência se repelem, adotando uma organização espacial tal que minimize essas repulsões, determinando, assim, a geometria da molécula (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018, p. 67).

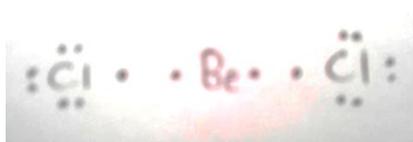
⁶**A estrutura de Lewis** é um diagrama que normalmente representa os elétrons de valência de um átomo utilizando pequenos pontos. O diagrama é utilizado para representar as ligações químicas existentes em uma molécula, através dos pares de elétrons compartilhados entre os átomos, em uma ligação covalente (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018, p. 57).

⁷**A estrutura de traços** é uma representação do compartilhamento de elétrons em uma ligação covalente. Os elétrons compartilhados por dois átomos são, normalmente, simbolizados por um traço (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018, p. 57).

(CH₄) e amônia (NH₃). Após os estudantes e a professora terem revisado e desenhado a estrutura de Lewis para as cinco moléculas escolhidas, tendo como base a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência, a professora solicitou que os estudantes propusessem uma representação para a geometria dessas moléculas. Para isso, ela orientou que a atividade poderia ser realizada em grupos de cinco integrantes, e que os desenhos fossem registrados em folhas separadas, com a intenção de facilitar a posterior comparação com as reelaborações dessas representações, que seriam realizadas ao longo dos desafios representacionais.

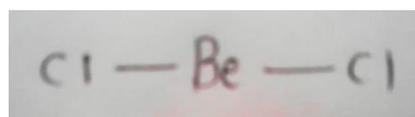
Todos os grupos elaboraram as representações da geometria da molécula de cloreto de berílio (BeCl₂) de forma coerente com a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência. Os estudantes distribuíram os pares de elétrons compartilhados ao redor do átomo de berílio de modo que os pares de elétrons estivessem o mais distante possível. Dessa forma os dois átomos de cloro foram dispostos a um ângulo de 180° um do outro. Selecionamos duas dessas representações para a molécula de cloreto de berílio, elaboradas pelo Grupo 3, reproduzidas nas Figuras 08 e 09, uma delas com a representação de Lewis e a outra com a de traço.

Figura 08: Representação de Lewis para a molécula BeCl₂



Fonte: Elaborado pela autora.

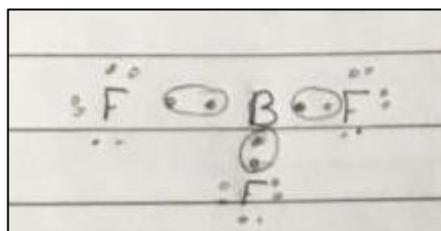
Figura 09: Representação de traços para a molécula BeCl₂



Fonte: Elaborado pela autora.

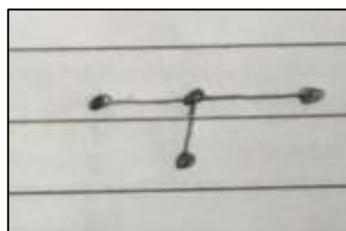
Nesse caso, os estudantes não demonstraram dificuldade para representar a geometria da molécula em questão, pois mesmo seguindo uma lógica própria, o resultado coincide com a representação canônica. As representações da geometria das demais moléculas, no entanto, não foram elaboradas de forma coerente com a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência. Nas Figuras 10 e 11 destacamos as representações da geometria da molécula de trifluoreto de boro (BF₃) elaboradas pelo Grupo 1, representativas de toda a turma.

Figura 10: Representação de Lewis para a molécula BF_3



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 11: Representação utilizando esferas e traços para a molécula BF_3



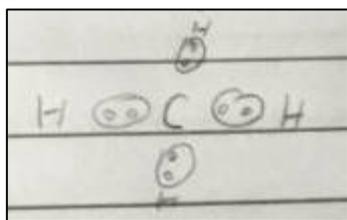
Fonte: Elaborada pela autora.

O Grupo 1 estipulou a maior distância angular em linha reta para duas das ligações entre os átomos de boro e flúor, formando um ângulo de 180° entre os pares de elétrons compartilhados. O espaço restante foi destinado para a outra ligação entre boro e flúor, formando um ângulo de 90° , conforme mostra a Figura 11.

Situação análoga se deu na representação do metanal (CH_2O) e, por isso, optamos por não descrevê-la pois, de modo semelhante ao que ocorreu durante a representação do trifluoreto de boro (BF_3), os estudantes inicialmente representaram as ligações entre carbono e hidrogênio com uma angulação de 180° e, entre os átomos de carbono e oxigênio, uma angulação de 90° . Nossa experiência docente permite afirmar que os estudantes da Educação Básica, ao iniciarem o estudo da geometria molecular, quando solicitados a representar a geometria de uma molécula que apresenta três ligações ao redor do átomo central, tendem a representar a distância entre duas ligações com uma angulação de 180° , por saberem ser essa a maior distância angular possível para duas ligações, e a organizar a outra ligação no espaço restante, sem justificarem essa escolha.

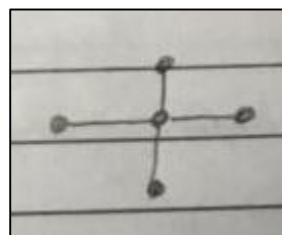
Na representação construída pelos estudantes para a geometria da molécula de metano (CH_4), os quatro pares de elétrons compartilhados entre os átomos de carbono e hidrogênio estavam separados por uma angulação de 90° cada. As Figuras 12 e 13 correspondem às representações do Grupo 1 para a molécula em questão, representativas de toda a turma.

Figura 12: Representação de Lewis para a molécula CH_4



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 13: Representação utilizando esferas e traços para a molécula CH_4

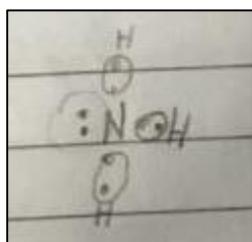


Fonte: Elaborado pela autora.

Podemos perceber claramente na representação do metano (CH_4) que, apesar de tratarmos de geometria da molécula, os estudantes fizeram um desenho bidimensional, o que não nos fornece qualquer ideia de entendimento tridimensional, necessário no caso de geometria molecular.

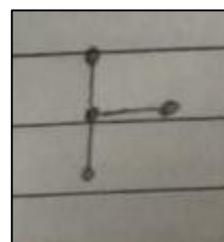
Os estudantes elaboraram a representação para a geometria da molécula de amônia (NH_3) de forma similar à representação da geometria da molécula de metano (CH_4), evidenciando que não haviam distinguido os pares de elétrons ligantes dos pares de elétrons que não participam de uma ligação covalente. A seguir, as representações construídas pelo Grupo 4, registradas nas Figuras 14 e 15. Essas representações foram semelhantes às dos outros grupos.

Figura 14: Representação de Lewis para a molécula NH_3



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 15: Representação utilizando esferas e traços para a molécula NH_3



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao observarmos as Figuras 11 e 15, poderíamos afirmar se tratar da mesma molécula que sofreu um giro de 90° . Isso nos mostra que há pouco entendimento representacional em relação às moléculas em questão, o que, de certa forma, já era esperado. Essas primeiras representações – Figuras 08 a 15 – mostram que os estudantes organizaram os átomos no plano do papel (bidimensional) e não fizeram uma distinção na organização espacial dos átomos na representação de Lewis, nem na de esferas e nem na de traços. Quando a professora solicitou aos estudantes que

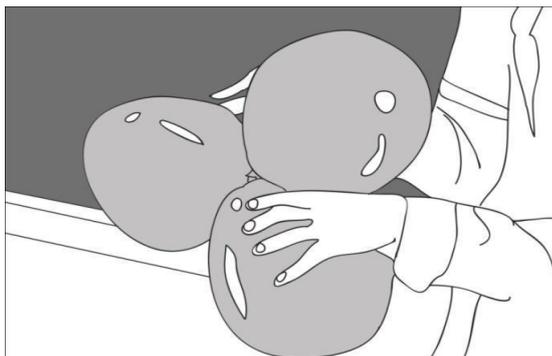
elaborassem a estrutura de Lewis e outra representação à escolha de cada grupo, o intuito era de que a representação de Lewis permitisse a visualização dos átomos ao redor do átomo central para uma posterior organização espacial, tendo como base a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência.

Temos ciência de que se trata de uma representação complexa, pois eles teriam que “imaginar” como os átomos que formam a molécula se distribuem no espaço. Para isso, teriam que usar a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência e, de acordo com a análise dos dados apresentados, os estudantes não basearam suas representações nessa teoria.

Com o intuito de oportunizar a experiência com outro modo semiótico capaz de elucidar essa teoria e também a organização espacial dos átomos ao redor do átomo central, a professora propôs a realização de uma atividade utilizando balões de festa. Os estudantes, organizados nos mesmos grupos da construção das primeiras representações, foram responsáveis por representar o grupo de moléculas da primeira atividade utilizando os balões. Foi esclarecido aos estudantes que os balões correspondiam aos pares de elétrons compartilhados entre dois átomos ou pares de elétrons não ligantes. Os balões que representavam pares de elétrons ligantes apresentavam tamanho similar e foram inflados pelos estudantes com uma certa quantidade de ar. Os balões foram inflados pelos estudantes. Os que representavam pares de elétrons ligantes eram um pouco menores do que os que representavam pares de elétrons não ligantes, atendendo o esclarecimento da professora de que a “nuvem eletrônica” ocupava um espaço um pouco maior quando comparado ao par de elétrons compartilhado. O conjunto de balões que representavam uma mesma molécula foram juntados em grupos. Passamos à descrição e análise de algumas dessas representações que foram socializadas em sala de aula.

A socialização da representação da geometria da molécula de trifluoreto de boro (BF_3) utilizando balões foi realizada pelo Grupo 4. Durante a socialização esses estudantes foram questionados pela professora sobre a correspondência entre a representação da molécula com balões (Figura 16) e a representação que haviam registrado no quadro (similar à representação registrada na Figura 11). Após a Figura 16 apresentamos um trecho da intervenção que a professora realizou para auxiliar os estudantes na reelaboração da representação.

Figura 16: Representação utilizando balões para a molécula BF_3



Fonte: Elaborado pela autora.

Professora: *Pessoal, vocês acham que os balões e o desenho que eles fizeram no quadro estão representando a mesma coisa?*

Alunos: *Não.*

(Alunos falam ao mesmo tempo)

Professora: *Tem três pares de elétrons sendo compartilhados e têm três balões. Isso está correto. E a forma como esses balões estão organizados no espaço?*

Francisco: *Assim.* (Francisco segura os balões com as mãos)

Professora: *Segura um balão só. E deixa que os outros se reorganizem.*

(Pedro segura apenas um balão com as mãos e mostra para a turma a forma como os balões organizaram-se)

Professora: *Esse ângulo aqui é igual a este?* (Professora aponta para as angulações entre os balões)

Alunos: *Sim.*

Professora: *Então vocês concordam que as três nuvens eletrônicas dos elétrons que estão sendo compartilhados estão à mesma distância umas das outras?*

Alunos: *Sim.*

Professora: *Quando eles fizeram esse desenho aqui, essa distância é a mesma desta?* (Professora aponta para as angulações de 90° e 180° registradas na representação no quadro)

Alunos: *Não.*

Professora: *Aqui no desenho deles nós temos um ângulo de 180° e dois ângulos retos, 90° . Esse desenho não traz as mesmas informações que a representação com balões. Como que a gente pode ajustar isso?*

Francisco: *Diminuir esse ângulo.* (Francisco aponta para a angulação de 180° entre os átomos de flúor)

Professora: *Então vamos fazer isso.*

(Francisco e Gustavo reelaboram a representação)

(...)

Professora: *Beleza. Agora esse desenho corresponde à representação dos balões no espaço?*

Alunos: *Sim.*

Professora: *E qual a angulação dessas ligações? Como a gente faz para descobrir o ângulo?*

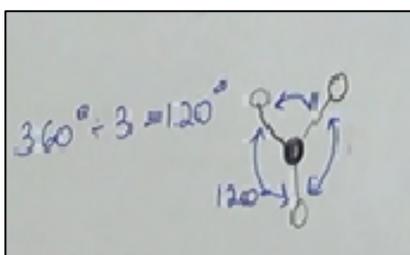
(Alunos falam ao mesmo tempo)

Alunos: *120°. 360 dividido por três.*

Professora: *Concordam? 360° dividido por três é 120°.*

O questionamento da professora sobre a correspondência entre as duas representações (balões e traços-esferas) permitiu que os estudantes do Grupo 4 percebessem que as duas formas representacionais não informavam as mesmas características em relação à geometria da molécula em questão. A professora direcionou o olhar dos estudantes e questionou-os sobre a angulação entre os balões e entre as esferas registradas no quadro. Os estudantes indicaram o que havia de incoerente na representação que registraram no quadro e propuseram uma forma para reelaborá-la. A nova representação (Figura 17) desenhada na lousa corresponde à representação com balões e está coerente com a teoria de repulsão dos pares de elétrons da camada de valência. Os estudantes distribuíram os pares de elétrons, compartilhados entre os átomos de boro e flúor, de modo que os três ângulos de ligação ficassem iguais.

Figura 17: Representação utilizando esferas e traços para a molécula BF₃



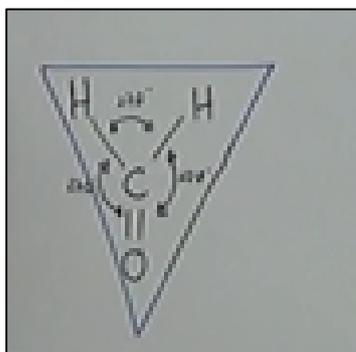
Fonte: Elaborado pela autora.

A professora mediu as discussões ocorridas durante e após a representação com balões fazendo perguntas que pudessem levar os estudantes a refletir sobre as representações elaboradas. A abordagem baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais era uma estratégia didática recente para essa educadora e para seus estudantes. Além de estarem estudando um conteúdo novo e de extrema abstração, esses estudantes não estavam habituados a estar à frente do processo de ensino e aprendizado, exercendo

protagonismo, o que pode ajudar a explicar a dificuldade de percepção de inadequações representacionais. Essa dificuldade já foi percebida em estudantes do Ensino Superior (PENA; QUADROS, 2020) e, portanto, era esperado que se fizesse presente entre estudantes da Educação Básica.

A segunda representação usando balões foi feita para a molécula de metanal (CH_2O). Durante a socialização da representação utilizando balões de festa, realizada pelo Grupo 2, os estudantes perceberam o arranjo espacial dos balões e, com isso, compreenderam que os pares de elétrons se distribuem com a mesma angulação ao redor do átomo de carbono, mantendo-se o mais afastado possível uns dos outros. Provavelmente a discussão envolvendo a molécula BF_3 auxiliou esse grupo a entender a representação da molécula CH_2O . Os estudantes desse grupo, no entanto, foram além, e relacionaram a disposição espacial dessa molécula com a figura geométrica correspondente (Figura 18). Após a Figura 18, transcrevemos um trecho da aula na qual ocorreu essa socialização.

Figura 18: Representação de traço para a molécula CH_2O



Fonte: Elaborado pela autora.

José: *A gente percebeu que o carbono iria ficar no meio, porque ele precisa fazer mais ligações para ficar estável. E ele vai compartilhar elétrons com os Hidrogênios e o Oxigênio. E essa aqui (aponta para a ligação Carbono e Oxigênio) é uma dupla ligação. Por isso que a gente fez esse balão maior: é o balão da dupla ligação (José aponta para a representação com balões em sua mão).*

Professora: *E o que vocês observaram das angulações? Elas são iguais?*

Caio: *São, né? São três ligações, se a gente pegar 360 e dividir pelas três dá 120. O ângulo entre as ligações é de 120°.*

Professora: *Então a gente tem também uma angulação de 120°. Reparem uma coisa, eu consigo pegar esses balões e encostá-los no plano?*

Alunos: *Sim.*

(Professora encosta os balões no quadro)

Professora: *Eu consigo. E se eu viro eles de lado, eles não ficam todos no mesmo plano também?*

Alunos: *Sim.*

(Professora posiciona os balões ao lado do quadro, de forma que os estudantes possam visualizá-los lateralmente)

Professora: *Isso significa que todos os elétrons que estão sendo compartilhados aqui estão no mesmo plano. Qual figura geométrica que a gente conhece que tem três arestas e está no mesmo plano?*

Paulo: *Triângulo.*

O estudante José iniciou a socialização da representação de seu grupo explicando as ligações covalentes que acontecem entre os átomos na molécula de metanal (CH_2O). Em seguida, justificou o fato de um dos balões apresentar maior volume em relação aos outros, afirmando que esse balão correspondia aos pares de elétrons compartilhados entre os átomos de carbono e oxigênio, que estabelecem uma ligação dupla. Como a nuvem eletrônica da dupla ligação apresenta dois pares de elétrons, de forma autônoma os estudantes perceberam a necessidade de diferenciá-la das outras nuvens eletrônicas. Ao final da socialização a professora perguntou a qual figura geométrica a disposição espacial da molécula de metanal (CH_2O) se assemelhava. Prontamente os estudantes citaram a figura geométrica correspondente e acrescentam o desenho de um triângulo à representação de traço construída no quadro (Figura 18). Nesse caso, os estudantes do Grupo 2 estabeleceram um diálogo com a professora e a turma com mais autonomia. Esses estudantes demonstraram mais familiaridade com esse modelo espacial, pois já haviam observado as discussões em torno da molécula BF_3 . Eles apresentaram uma maior desenvoltura ao lidar com essa representação e também para justificar as alegações perante a turma.

A última molécula que os estudantes representaram, do grupo de moléculas que apresentam apenas pares de elétrons ligantes ao redor do átomo central, foi a molécula de metano (CH_4). Durante a socialização da representação da geometria do metano (CH_4) com balões de festa, as estudantes do Grupo 1 condicionaram os balões para que os quatro balões, correspondentes aos quatro pares de elétrons compartilhados entre carbono e hidrogênio, ficassem no plano, como podemos visualizar na Figura 19. Ao que parece, elas perceberam que a representação com

balões era a mesma desenhada na lousa e tentaram, assim, torná-las semelhantes, forçando a posição dos balões.

Figura 19: Representação utilizando balões para a molécula CH_4



Fonte: Elaborado pela autora.

A professora solicitou, então, que as estudantes deixassem que os balões se reorganizassem naturalmente e, nesse momento, elas e seus colegas se depararam com quatro balões que não se encontravam no mesmo plano, o que criou dúvidas em torno do que haviam proposto. A seguir, um trecho da transcrição desse momento da aula:

Mariana: *Aqui no centro do balão tem um átomo de carbono. E em cada uma das pontas um hidrogênio. Eles fazem quatro ligações simples. Aí vai ter uma angulação de 90° , porque 360 dividido por quatro é 90 .*

Professora: *O desenho delas corresponde à imagem do balão, gente?*

Alunos: *Sim.*

(...)

Professora: *Mas olha só! Houve uma pequena “forçação de barra” para que os balões ficassem assim. Se a gente deixar eles soltos, sem condicionar a posição que queremos que eles fiquem, como eles se organizam? (Professora segura apenas um dos balões com a mão, permitindo que eles se organizem sem interferência). Eles ficam iguais à representação do quadro?*

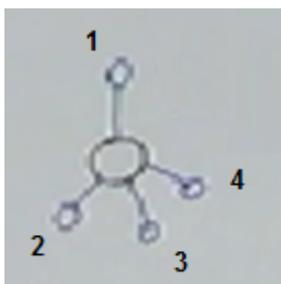
(Júlia reelabora a representação do seu grupo)

(...)

Professora: *Explica seu desenho, Júlia.*

Júlia: *Esses dois hidrogênios estão no plano do quadro (Júlia aponta para as esferas 1 e 2 indicadas na Figura 20). Esse está para fora (Júlia aponta para a esfera 3) e esse dentro do plano (Júlia aponta para a esfera 4).*

Figura 20: Representações utilizando esferas e traços para a molécula CH_4



Fonte: Elaborado pela autora.

As estudantes do Grupo 1 tinham hipóteses de que as quatro ligações na molécula de metano (CH_4) estavam no plano e organizaram os balões de modo que os quatro balões estivessem dispostos no plano, o que a professora chamou de “forçação de barra”. Ao serem chamadas a deixar os balões livres, elas perceberam que a hipótese não se confirmava, o que fez com que reelaborassem a representação. Após visualizar a disposição dos balões no espaço de forma livre, as estudantes elaboraram uma representação coerente com a organização espacial dos balões e com a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência (Figura 20). Em um momento posterior à discussão registrada no trecho que destacamos, as estudantes questionaram o valor da angulação entre os átomos na molécula de metano (CH_4). A professora indicou o valor, explicou que não era possível seu cálculo como o das angulações anteriores, e que os cientistas tinham chegado a esse valor através de experimentos (VIEIRA *et al.*, 2008).

Passamos agora para o momento em que ocorreu a socialização da molécula de amônia (NH_3), que apresenta um par de elétrons não ligantes ao redor do átomo central. Antes de a turma realizar a atividade com os balões de festa, a professora reiterou a recomendação de que os estudantes representassem os pares de elétrons não ligantes com balões de volume maior do que o dos balões correspondentes aos pares de elétrons participantes de um compartilhamento. Ela explicou aos estudantes que os pares de elétrons não ligantes apresentam uma densidade eletrônica maior e tendem a repelir com mais intensidade os demais pares de elétrons ao redor do átomo central. Nesse caso, a professora usou de um discurso de autoridade (MORTIMER; SCOTT, 2003), ao transmitir informações às quais os estudantes não teriam acesso facilmente. Ao apresentar aspectos da ciência escolar, a professora forneceu aos estudantes melhores condições de construir a representação considerando também os elétrons não ligantes presentes na molécula em questão.

De modo semelhante ao ocorrido durante a socialização da geometria da molécula de metano (CH_4), o Grupo 2 – ao apresentar a representação da molécula NH_3 – moldou os balões para que os quatro pares de elétrons ficassem no mesmo plano, distanciados por uma angulação de 90° . Júlia indicou que a forma como o grupo tinha organizado os balões não estava correta, e a professora interveio solicitando que os estudantes permitissem que os balões se reorganizassem sozinhos. A seguir, um trecho da discussão que aconteceu nesse momento:

Professora: *Caio, para de mexer nesse balão!*

Caio: *É porque ele está errado assim.*

Júlia: *Não está não!*

Caio: *O par de elétrons não ligantes é esse balão verde aqui.*

Professora: *Você quer que os balões fiquem assim (professora aponta para o arranjo de balões do grupo). Mas quando eles podem se organizar naturalmente eles ficam diferentes.*

Caio: *É (risos). Eu quero representar eles no plano.*

Professora: *Pessoal, a gente precisa explicar o que a gente está vendo. Os átomos da molécula de amônia se organizam dessa forma (a professora mostra os balões conforme apresentamos na Figura 21, a seguir). A gente precisa entender porque está dessa forma e não desta forma (a professora posiciona os balões no plano). Bom, quando eu pedi para vocês deixarem o balão verde maior, era para mostrar que os pares de elétrons não ligantes repelem mais, ocupam mais espaço. (...) Você pode desenhar pra gente, Caio?*

(Caio registra no quadro uma representação para a molécula de amônia)

(...)

Caio: *No caso aqui, o nitrogênio está no meio da pirâmide, né?*

Professora: *Sim.*

(...)

Professora: *O Caio desenhou uma pirâmide. Os três balões vermelhos são a base dessa pirâmide, e tem um átomo de hidrogênio em cada aresta. E o balão verde é o par de elétrons não ligantes, que fica nessa aresta aqui de cima. A molécula de amônia se organiza em uma pirâmide, sua geometria é piramidal.*

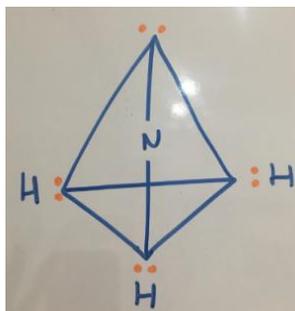
Figura 21: Representação utilizando balões para a molécula NH_3



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 22 está a representação feita pelo Grupo 2, depois que percebeu que estava “forçando” um posicionamento para os balões, ao representar a molécula de amônia.

Figura 22: Representação para a molécula NH_3



Fonte: Elaborado pela autora.

Durante a socialização dessa representação, Júlia indicou que o grupo de Arthur estava condicionando os balões a uma determinada orientação, assim como seu grupo havia feito na representação da geometria da molécula de metano. Isso mostra que Júlia estava atenta a essas representações e foi capaz de usar os conhecimentos que mobilizou para reformular a representação da molécula CH_4 também para analisar a representação do Grupo 2. Quando o Grupo 2 permitiu que os balões se organizassem naturalmente os estudantes desenharam a molécula de amônia dentro de uma pirâmide (Figura 22) atendendo à solicitação da professora para que reelaborassem a representação da geometria da amônia. Os estudantes fizeram a correspondência entre a geometria da molécula e a forma do sólido geométrico de modo espontâneo.

A atividade com balões, mediada pelos questionamentos da professora, permitiu que os estudantes percebessem a inadequação de suas primeiras representações e buscassem reelaborá-las de forma a explicar o fenômeno que estavam observando. Os estudantes, que inicialmente representaram a organização espacial das moléculas apenas no plano, foram capazes de representar o grupo de moléculas em três dimensões, de modo coerente com os arranjos de balões construídos e com a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência. Kozma e Russell (2005) afirmam que a aprendizagem significativa é possibilitada quando os estudantes experimentam a formulação e a avaliação de hipóteses, e podem testar seus próprios argumentos ao construir e reelaborar representações.

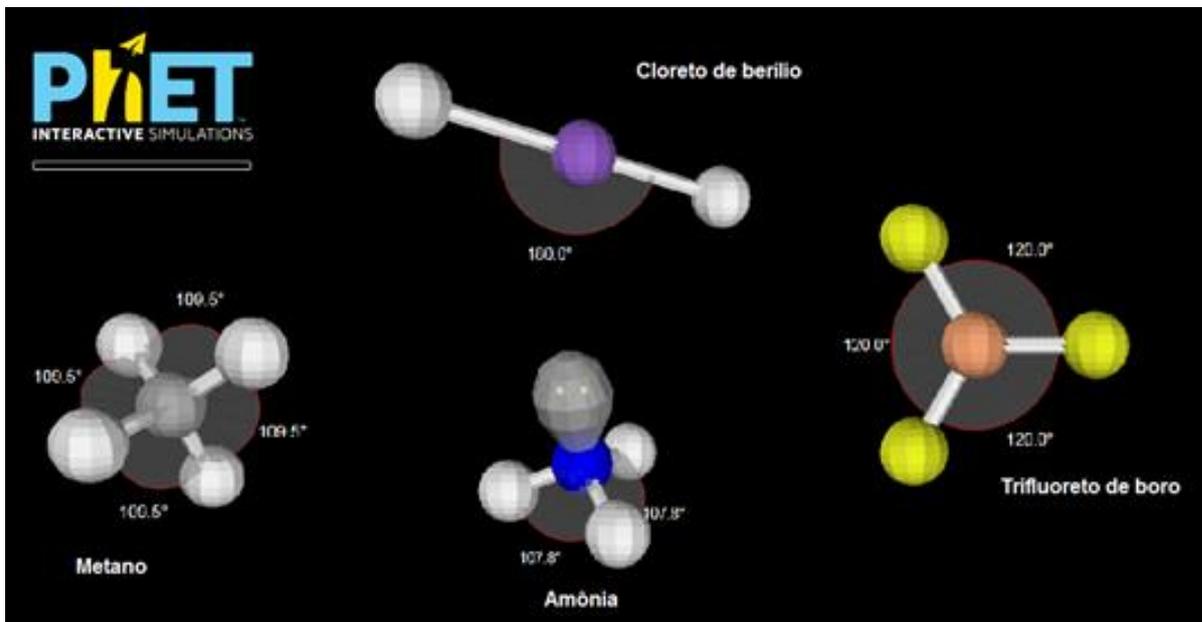
Os estudantes envolvidos nas atividades de proposição, justificção/argumentação, negociação e reelaboração de representações para a geometria de algumas moléculas perceberam que ao lidar com dois modos semióticos diferentes – desenho no quadro e manipulação de balões – estavam representando a mesma molécula e, em alguns momentos, tentaram fazer com que os balões se comportassem como o desenho que haviam feito. O alerta da professora, no entanto, auxiliou que aumentassem a consciência em torno do próprio desenho e o reelaborassem. Com isso, pareceu-nos que o entendimento foi mais adequado.

Após a socialização das representações feitas com os balões de festa um novo modo semiótico foi inserido na aula, um simulador de geometrias moleculares. A professora apresentou as representações canônicas das moléculas já estudadas nesse simulador PhET⁸. Essa atividade permitiu que os estudantes experienciassem a manipulação das moléculas investigadas em três dimensões, e analisassem o efeito da tentativa de aproximação dos pares de elétrons, ligantes e não ligantes, pertencentes às moléculas. Os estudantes demonstraram familiaridade com as representações canônicas, muito semelhantes às representações elaboradas por eles, já que os elementos que configuram essas representações foram trabalhados e discutidos na atividade anterior, a exemplo da repulsão dos pares de elétrons e da

⁸ O simulador **PhET *Interactive Simulations*** é um simulador criado pela Universidade do Colorado (Estados Unidos), disponível gratuitamente na *internet*. Reúne um acervo de simulações de diferentes fenômenos e conceitos de Ciências (Química, Física e Biologia) e de Matemática. Disponível em <https://phet.colorado.edu>.

angulação entre as ligações. Na Figura 23 apresentamos as representações de algumas dessas moléculas no simulador.

Figura 23: Geometria das moléculas analisadas no simulador PhET



Fonte: Elaborado pela autora.

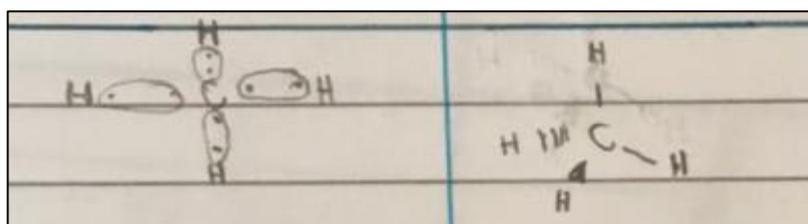
Após a manipulação das estruturas químicas no simulador, os estudantes refinaram as representações para as moléculas investigadas. As Figuras 24, 25, 26 e 27 apresentam essas representações reformuladas. Notamos que houve uma evolução significativa nos desenhos elaborados pelos estudantes, sendo que eles representaram com coerência a geometria das moléculas investigadas.

Figura 24: Representação final da geometria da molécula BF₃ elaborada pelo Grupo 3



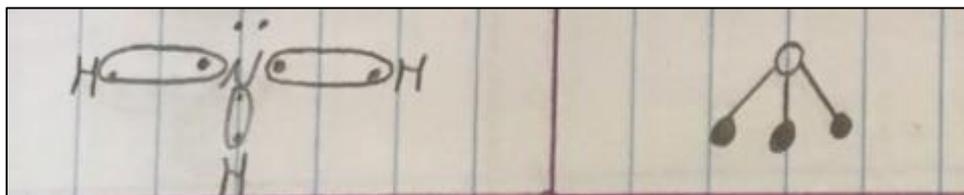
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 25: Representação final da geometria da molécula CH₄ elaborada pelo Grupo 1



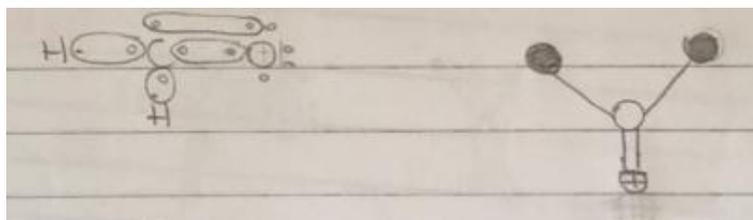
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 26: Representação final da geometria da molécula NH_3 elaborada pelo Grupo 4



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 27: Representação final da geometria da molécula CH_2O elaborada pelo Grupo 2



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação às representações finais da geometria das moléculas estudadas, destacamos a transição da representação de Lewis, de duas dimensões (bidimensional), para a representação de esferas e traços, em três dimensões (tridimensional). Pareceu-nos que os estudantes perceberam que diferentes representações têm como objetivo elucidar determinados aspectos de um conceito. A representação de Lewis não tem o objetivo de informar a geometria da molécula e, sim, apresentar as ligações covalentes entre os átomos que a compõem. Apesar de não informar a geometria molecular, a representação de Lewis é fundamental para se pensar a organização espacial da molécula. Notamos que, antes de usar os balões, os estudantes não tinham sido capazes de imaginar a geometria espacial das moléculas investigadas, uma vez que sempre consideravam o plano nos desenhos elaborados, ou seja, faziam uma representação bidimensional. Ao que tudo indica, ao lidarem com um outro modo semiótico, que permitiu a exploração do espaço em três dimensões, os estudantes conseguiram relacionar as duas representações para uma mesma molécula e, assim, utilizaram a segunda (com balões) como base para a construção de uma representação com traços que levasse em conta a geometria da molécula. Nossa experiência tem mostrado que o modelo bidimensional ou planar tem sido o mais usado ao desenhar uma representação. Porém, alguns entendimentos ficam bastante limitados nesse tipo de modelo como, por exemplo, as posições relativas de alguns ligantes na estrutura molecular. Por isso é indicado o uso de outras formas de representação, principalmente quando o conceito a ser focado exige um grau maior de complexidade. Nessa experiência, o uso de balões – uma

representação informal – auxiliou os estudantes a compreenderem a geometria espacial das moléculas e a desenharem na lousa essa geometria tridimensional. Ousamos afirmar, inclusive, que fez sentido para eles o uso de traços do tipo cunha cheia/cunha tracejada, a exemplo da Figura 25. Embora os estudantes não tenham construído a representação com cunha cheia e tracejada, informação que a professora compartilhou com a turma, partiu dos próprios estudantes a necessidade de diferenciar a ligação entre os átomos dentro e fora do plano.

Conforme já explicitado, cada representação tem suas próprias restrições e oferece informações sobre um traço peculiar do conceito em questão sem ser capaz de descrevê-lo completamente (TYTLER *et al.*, 2013a). Ao lançar mão de diferentes modos de representação (representações em desenho, balão de festa, simulação digital) para elucidar a forma como as moléculas investigadas se organizam no espaço, os estudantes se mostraram mais familiarizados com a geometria das moléculas trabalhadas.

4.2 Polaridade das moléculas

Após a realização dos desafios representacionais envolvendo geometria molecular, a professora iniciou uma sequência de atividades para trabalhar a polaridade das moléculas. Essa atividade foi iniciada explorando o conceito de polaridade de ligações e as formas de representá-lo, e, em seguida, por meio de representações incorporadas, ela construiu com os estudantes o conceito de polaridade das moléculas e algumas possíveis representações.

No nono ano do Ensino Fundamental os estudantes ainda não haviam estudado vetores⁹, e a professora optou por chamar de “setas” os vetores que indicavam a direção na qual o par de elétrons é atraído com mais intensidade. Os estudantes foram convidados pela professora a construir a representação de Lewis e a de traço para as moléculas de água (H₂O) e de metano (CH₄), levando em conta a geometria molecular. O Grupo 3 compartilhou com a turma a representação

⁹Nas Ciências exatas, **vetores** são segmentos de reta orientados, responsáveis pela caracterização das grandezas definidas como vetoriais. Grandezas vetoriais são grandezas que possuem, além do valor numérico (módulo), direção e sentido. Força, velocidade e aceleração são exemplos de grandezas vetoriais (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2012).

construída (Figura 28), desenhando-a na lousa. A seguir, um trecho da transcrição do discurso ocorrido nesse momento.

Figura 28: Representação de Lewis e de traço para a molécula H₂O



Fonte: Elaborado pela autora.

Professora: *Lucas, o que você acha? Esse par de elétrons, que está sendo compartilhado entre o átomo de oxigênio e hidrogênio, é distribuído da mesma forma? Ele está sendo atraído com a mesma intensidade pelo oxigênio e pelo hidrogênio?*

Lucas: *Não.*

Professora: *Por que não?*

Lucas: *Por conta da eletronegatividade. Como o oxigênio é mais eletronegativo, ele atrai para mais perto dele o par de elétrons.*

Professora: *Todo mundo escutou o que ele disse?*

Alunos: *Não.*

Professora: *Quando acontece a ligação ou a aproximação deles (átomos), o oxigênio se mostra mais eletronegativo que o hidrogênio, e por isso, irá atrair mais o par de elétrons. Quando a gente faz esse desenho aqui, do Grupo 3 (professora aponta para a representação no quadro), ele demonstrou isso?*

Grupo 3: *O que?*

Professora: *Esse desenho, se a gente pensar nessa informação, na intensidade com que o par de elétrons está sendo atraído. Ele traz essa informação? Que um átomo atrai mais que o outro?*

Grupo 3: *Não.*

Professora: *Como a gente poderia fazer isso?*

Lucas: *O par de elétrons tinha que estar mais perto do oxigênio.*

Professora: *Alguém representa isso aqui.*

(Lucas vai até o quadro e faz a representação)

Professora: *Vocês acham que é mais coerente fazer essa representação usando a estrutura de Lewis ou a estrutura de traço?*

Alunos: *De Lewis.*

Professora: *Por quê?*

Paulo: *Porque dá para representar as bolinhas lá.*

Professora: *E as bolinhas representam o quê?*

Paulo: *Os elétrons.*

Professora: *Na estrutura de Lewis os elétrons estão presentes.*

(Lucas finaliza o registro no quadro)

Figura 29: Representação de Lewis para a molécula H₂O refeita por Lucas



Fonte: Elaborado pela autora.

Em seguida a professora retomou a discussão, com a intenção de socializar o conhecimento presente na representação de Lucas, com o seguinte diálogo:

Professora: *Vocês concordam? Essa representação (Figura 29) traz essa ideia... de que o par de elétrons está mais próximo do oxigênio?*

Alunos: *Traz.*

Professora: *Mas esse par de elétrons (professora aponta para o par de elétrons da ligação oxigênio e hidrogênio) pertence só ao oxigênio?*

Alunos: *Não.*

Professora: *Pertence aos dois átomos, né? Porque aqui é uma ligação covalente, está tendo um compartilhamento. Continua tendo compartilhamento, só que agora a gente sabe que se tem diferença de eletronegatividade, o par de elétrons vai ser mais atraído por um dos átomos.*

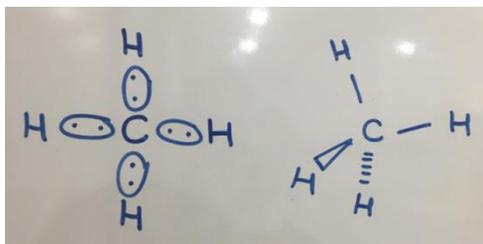
O início da discussão contempla a socialização das representações de Lewis e de traço para a molécula de água (H₂O). A professora não havia solicitado que os estudantes elucidassem a polaridade das ligações em sua representação. O objetivo foi de reelaborar a representação em conjunto com os estudantes. Ao ser questionado da intensidade com que o par de elétrons é atraído pelos dois átomos participantes da ligação covalente, Lucas prontamente afirmou que o par de elétrons se encontrava mais próximo do átomo de oxigênio, valendo-se do conceito de eletronegatividade para justificar sua resposta. A professora perguntou ao grupo qual das representações (Lewis ou traço) era mais coerente para retratar a polaridade das ligações, ao que

Paulo afirmou que a representação de Lewis era mais coerente por contemplar os elétrons envolvidos na nuvem eletrônica. A percepção de qual representação permite uma melhor exploração de um conceito pode ser um indício de que os diferentes tipos de representações estão sendo percebidos em função da *affordance*, pois fornecem clareza e abrangência diferentes. Assim, os estudantes estão desenvolvendo a habilidade de definir quais as “melhores” representações para um dado fenômeno ou conceito (TYTLER *et al.*, 2013a).

Ao reelaborar a representação, os estudantes desenharam o par de elétrons mais próximo ao átomo de oxigênio e distante do átomo de hidrogênio (Figura 29). Para se certificar de que os estudantes não haviam construído uma concepção alternativa que considerava o par de elétrons pertencente apenas ao átomo de oxigênio, a professora questionou o Grupo 3 e eles reafirmaram o compartilhamento. Em um momento posterior da discussão os estudantes afirmaram que tinham afastado o átomo de hidrogênio, da forma como foi representado, para enfatizar o fato de a nuvem eletrônica estar mais próxima do oxigênio.

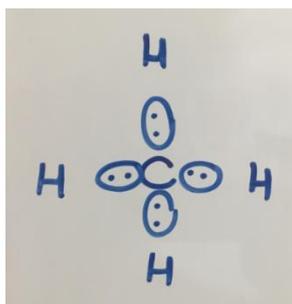
Em seguida, o Grupo 1 apresentou a representação da molécula de metano (CH_4), usando a estrutura de Lewis e a de traço, e realizou sua reelaboração com a turma. De modo semelhante ao Grupo 3, o Grupo 1 justificou o fato de o par de elétrons estar mais próximo do átomo de carbono utilizando o conceito de eletronegatividade. As Figuras 30 e 31 ilustram as primeiras representações do Grupo 1 e sua reelaboração, respectivamente.

Figura 30: Representação de Lewis e de traço para a molécula CH_4



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 31: Reelaboração da representação de Lewis para molécula CH₄



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim que os estudantes iniciaram a socialização das representações no quadro, a professora induziu os estudantes a mobilizarem conhecimentos tratados em aulas anteriores, referentes à geometria molecular e polaridade das ligações, preparando o terreno para inserir o assunto que havia planejado: a polaridade das moléculas. Com isso, ela criou uma continuidade entre o que já tinha sido estudado e o que estava sendo estudado naquele momento (QUADROS; GIORDAN, 2019). Em seguida ela inseriu as “setas” como forma de representar o deslocamento do par de elétrons para mais próximo do elemento de maior eletronegatividade, com a intenção de iniciar a discussão em torno da polaridade da molécula. Seleccionamos um fragmento desse momento da aula, o qual está transcrito a seguir:

Professora: Quando estudamos ligação covalente, alguém lembra como representamos a polaridade das ligações? Alguém se lembra? Não? Naquelas aulas a gente usou setinhas. Setinhas indo em direção ao elemento mais eletronegativo. Então, a gente tinha a estrutura de Lewis e a gente representava uma seta indo em direção ao oxigênio (professora desenha uma seta na representação da molécula de água), para mostrar que o par de elétrons estava mais próximo do oxigênio.

(...)

Professora: Se a gente pensar na molécula de água, nós temos uma setinha indo em direção ao oxigênio e a outra setinha também indo em direção ao oxigênio. E ali no metano, como a gente poderia fazer isso?

Júlia: Uai, as quatro setas indo em direção ao carbono.

Professora: Sim. As quatro setas indo em direção ao carbono.

(Professora desenha as setas na representação do metano no quadro)

Professora: Agora vamos lá. Se uma ligação pode ser polar ou apolar, como eu posso avaliar a polaridade da molécula como um todo?

Júlia: Professora, pensa comigo. Se aquele ali só tem ligação polar, a molécula é polar. É isso?

Professora: *É isso que eu quero saber.*

Mariana: *Quanto mais ligação polar tiver, mais polar é a molécula.*

Professora: *Vocês conseguiram ouvir o que a Júlia e a Mariana disseram?*

Alunos: *Não.*

Professora: *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?*

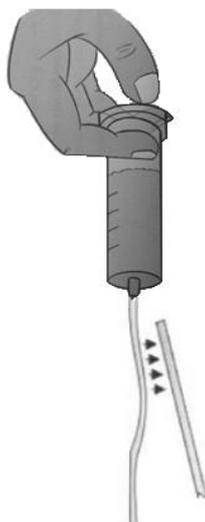
Alunos: *Sim.*

(...)

Professora: *Vamos fazer um experimento que vai nos ajudar a compreender melhor isso.*

Utilizando a linguagem como meio mediacional, a professora fez questionamentos com o intuito de levantar hipóteses sobre os aspectos que definem a polaridade de uma molécula. Waldrip, Prain e Carolan (2010), afirmam que a maneira como o professor orienta os desafios representacionais é fator determinante para que essa estratégia seja bem-sucedida. A professora não fez um fechamento da discussão e propôs a realização de um experimento. O experimento consistia em aproximar uma régua atritada de um feixe de água fluindo de uma seringa e, posteriormente, repetir o procedimento utilizando óleo mineral. A Figura 32 ilustra o experimento realizado.

Figura 32: Ilustração do feixe de água com a proximidade de uma régua atritada



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao aproximarem uma régua atritada de um feixe de água que fluía de uma seringa sem o êmbolo os estudantes observaram que o feixe de água foi atraído pela régua atritada e sua linha de queda se deslocou em direção à régua. Quando aproximaram a régua atritada de um feixe de óleo os estudantes observaram que o óleo praticamente não foi atraído pela régua atritada.

Após a observação dos dois fenômenos, a professora solicitou que os estudantes construíssem explicações, tendo como base a polaridade das ligações e a polaridade das moléculas. Esses estudantes, por estarem cursando o nono ano do Ensino Fundamental, ainda não tinham estudado os compostos orgânicos e, por isso, a professora esclareceu que a estrutura molecular do óleo se assemelha à estrutura do metano, em termos de polaridade da molécula. Segue um trecho da transcrição desse momento.

Paulo: *A água escorreu da seringa. Aí quando a gente aproximou a régua da água, a água chegava perto da régua. Eu observei isso.*

Professora: *E como vocês explicaram isso? Por que o feixe de água se aproximou da régua?*

Paulo: *Por causa do atrito com o cabelo. A carga foi para a régua.*

Professora: *Tá. Então a régua estava eletrizada. Falamos isso na última aula.*

Júlia: *Eu tenho uma teoria.*

Professora: *Qual teoria?*

Júlia: *A água é uma boa condutora elétrica?*

Professora: *Conduz corrente elétrica.*

Júlia: *Exatamente. É isso aí.*

Professora: *Ok. E o que o feixe de água tem que fez com que ele fosse atraído pela régua? O que vocês observaram com o óleo?*

Paulo: *O óleo foi mais difícil de ser atraído. Por causa da textura dele.*

Professora: *Então, por ele ser mais viscoso, ele foi menos atraído?*

Caio: *Professora, eu acho que tem a ver com a molécula do óleo. Quando você esfregou a régua na cabeça, você deu carga para ela. Aí essa carga fez puxar a água, que também tem um certo tipo de carga, entendeu? Já o óleo tem mais dificuldade em ter carga, por isso ele foi menos atraído.*

Professora: *Vocês entenderam a explicação do Caio?*

Alunos: *Não.*

Professora: *Ele disse que quando esfregamos a régua no cabelo, a régua ficou carregada. Então essa régua tinha uma carga. Ela foi carregada ou eletrizada. Ao aproximar do feixe de água, devido à molécula de água também ter carga, ela foi atraída.*

(...)

Professora: *Quando a gente estudou ligação química, vimos que uma ligação pode ser polar ou apolar. Retomamos isso na aula passada, né?*

(...)

Professora: *Quando a gente olha para essa ligação (professora aponta para a ligação na molécula de água) entre oxigênio e hidrogênio, ela é polar ou apolar?*

Alunos: *Polar.*

Professora: *E quando a gente olha no metano? A ligação carbono e hidrogênio é polar ou apolar?*

Alunos: *Polar.*

Professora: *O tipo de ligação, nas duas moléculas, é o mesmo. As duas têm ligações covalentes polares. Por que a água é atraída com mais intensidade do que o óleo? O Paulo falou da viscosidade do óleo. Mas o óleo mineral tem viscosidade bem próxima à da água. Ele é bem ralinho. Se a gente fizesse esse experimento com óleo de cozinha, iria dar para ver que o óleo de cozinha é muito mais viscoso do que a água. Mas o óleo mineral não.*

(...)

Professora: *Então, a diferença que observamos não está relacionada à diferença de viscosidade dos dois líquidos.*

Júlia: *Professora, eu não sei por que, mas aquele ali (aponta para a molécula de água) é polar. E aquele ali (aponta para a molécula de metano) é apolar.*

Professora: *Ok. Está certo. Mas por que essa é polar e esta, apolar?*

Júlia: *Eu não sei. Eu li na apostila. Tem aquele negócio da distância. Se for igual a zero a molécula é apolar. E se for diferente de zero a molécula é polar.*

Como podemos observar por meio da transcrição, os estudantes não conseguiram elaborar uma explicação coerente para o experimento realizado. Júlia se mostrou interessada na possível explicação, ao afirmar, inicialmente, que tinha uma teoria, mas não foi capaz de desenvolvê-la, limitando-se ao argumento de que a água conduz corrente elétrica. Depois, ela retomou a fala afirmando ter buscado dados na apostila que trazia o conteúdo trabalhado na disciplina. Ela adiantou para a turma que a molécula de água é polar e a molécula de metano é apolar, mas não soube justificar essa diferença, observado que nas duas moléculas as ligações são polares. A fala de Júlia, nesse trecho da transcrição, é um bom exemplo para elucidar que quando os estudantes são apresentados aos modelos canônicos, sem uma preocupação em compreender como a Ciência elaborou aquela representação, eles podem estar apenas repetindo conceitos e/ou explicações que não têm sentido para eles. A estudante classificou as moléculas em polares e apolares, mas não foi capaz de

utilizar essa informação para explicar o fenômeno observado, assim como não foi capaz de entender o porquê de essas moléculas serem polares ou apolares. A professora solicitou, então, que os estudantes participassem de outra atividade, que chamamos de representação incorporada ou teatralização. Lim (2020) afirma que o uso do corpo, durante o processo de ensino e aprendizagem, está relacionado ao entendimento da comunicação multimodal. O autor utiliza o termo ensino incorporado para abordar os gestos e movimentos corporais que um professor utiliza para se comunicar com os estudantes no processo de ensino e aprendizagem. Optamos por utilizar o termo representação incorporada ou teatralização, por abordar a utilização do corpo como ferramenta para representar um conceito/fenômeno dentro do processo dos desafios representacionais de forma um pouco mais ampla do que foi descrito por Lim (2020). A transcrição a seguir mostra o momento da aula no qual a representação incorporada foi utilizada.

Professora: *Vamos imaginar que o Antônio é um átomo de oxigênio. E as meninas são átomos de hidrogênio. Pensando na geometria da molécula de água, que é angular, onde as meninas precisam se posicionar?*

Isabela: *Uma aqui e outra ali.*

Paulo: *Na diagonal. Diagonal na frente.*

(Júlia e Letícia posicionam-se conforme orientação dos colegas)

Professora: *Beleza. O Antônio é um átomo de oxigênio que, como vocês disseram antes, é o mais eletronegativo. Vocês podem dar as mãos para simbolizar as ligações. Vocês acham que o ângulo está bom (ângulo de ligação)?*

Isabela: *Não. A Júlia tem que arredar um pouco. (Ver Figura 33)*

Professora: *Vamos fechar um pouquinho, né? Beleza. 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 (coloca a mão sobre as mãos dos alunos) na ligação?*

Letícia: *Ele puxa mais os elétrons.*

Professora: *Então faça isso, Antônio.*

(Antônio puxa as meninas para próximo dele – ver Figura 34)

Professora: *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?*

Caio: *Em direção ao Antônio. Indo para trás dele.*

Professora: *Nós temos essas duas forças aqui (professora mostra os vetores com as mãos). Se a gente juntar essas duas forças para onde vai a força resultante, a soma das forças?*

(...)

Professora: *Eu vou fazer a pergunta de outra forma. Antônio, se você continuar puxando, seu corpo tende a ir para onde?*

Antônio: *Eu vou para trás. Eu caio.*

Figura 33: Teatralização da polaridade para a molécula H₂O (momento inicial)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 34: Teatralização da polaridade para a molécula H₂O (momento final)



Fonte: Elaborado pela autora.

Professora: *O Antônio sente a força indo para trás. (...) Agora vamos olhar para essa representação aqui (a professora aponta para a representação no quadro). Quando a gente fala de resultante de forças, eu estou somando essa força aqui e essa aqui. E a soma das duas é diferente de zero. Uma não tira o efeito da outra. Tanto que ele sentiu no corpo que ele tendia a ir para trás. Agora vamos pensar na molécula de metano. Vamos precisar de cinco pessoas.*

(...)

Professora: *Bom, então vamos lá. O Antônio é o carbono e vocês são hidrogênios. Como vocês estão organizados no espaço?*

Francisco: *Antônio fica no meio. Júlia fica atrás.*

(Alunos indicam onde os colegas que representam átomos de hidrogênios precisavam estar. Paulo, Júlia, Isabela e Lucas organizam-se conforme as orientações dos colegas)

Professora: *Agora vamos dar as mãos. Infelizmente, o Antônio só tem duas mãos (risos) então Paulo e Isabela colocam a mão nele. Agora vamos pensar nos ângulos (ângulos de ligação). São quantas ligações no mesmo plano?*

Alunos: *Duas.*

Professora: *Quem está representando essas ligações?*

(Júlia e Lucas levantam a mão)

Isabela: *Júlia e Lucas.*

Professora: *Não está legal não. O ângulo entre as ligações é de 180° ?*

Alunos: *Não.*

Professora: *Então tem que mudar.*

(Paulo muda a posição do Lucas)

(Alunos falam ao mesmo tempo)

Professora: *A gente não vai conseguir fazer perfeito não. Mas dá para ver que Júlia, Antônio e Lucas estão no plano, Paulo e Isabela estão fora do plano. Isabela, você está onde?*

Isabela: *Na frente. E o Paulo atrás.*

Professora: *Quem é mais eletronegativo: carbono ou hidrogênio?*

Alunos: *Carbono.*

Professora: *Então o Antônio tem que puxar todo mundo.*

(Antônio puxa os colegas)

Professora: *Vamos decompor essas forças. Vamos fazer em partes. Antônio, quando você puxa a Júlia e o Lucas com a mesma força, você tende a sair do lugar?*

Antônio: *Sim.*

Professora: *Quando você puxa com a mesma intensidade Isabela e Paulo, você tende a sair do lugar?*

Antônio: *Sim.*

Professora: *E se tudo isso acontecer ao mesmo tempo?*

Eduardo: *Uma força está cancelando a outra.*

(...)

Professora: *Como que a gente explica isso? Quer dizer que as forças, (a professora mostra a representação no quadro) essas forças aqui, se anularam? Foi isso?*

(...)

Professora: *Aqui a gente vai ter uma resultante de forças?*

Júlia: *Não. Vai ser zero, elas se anularam.*

Professora: *Essa força se anula com esta. (...) Então minha resultante é zero. Quando a soma das forças se anula, a resultante das forças é igual a zero. Nesse caso temos uma molécula apolar.*

(...)

Júlia: *O que isso tem a ver com a água que foi atraída? E o óleo que não foi atraído?*

José: *Quando a gente esfrega a régua no cabelo, ela fica com carga. Carga positiva ou negativa. A água (molécula de água) que também tem carga foi atraída pela régua. As duas deviam ter cargas diferentes, né? Por isso atraiu. E o óleo que não tem carga não foi nem atraído e nem repelido.*

A representação incorporada, ou teatralização conforme nomeamos, auxiliou os estudantes do nono ano do Ensino Fundamental a terem uma ideia inicial do conceito de forças e de vetores, o qual usaram para investigar a polaridade das moléculas de água (H₂O) e de metano (CH₄) e para elucidar a diferença entre a polaridade de uma ligação e a polaridade de uma molécula e, com isso, tentar compreender o fenômeno observado no experimento da régua atritada se aproximando dos feixes de água e óleo.

Ao definir a polaridade de uma molécula por meio da resultante de forças, a professora tratou de um conceito complexo, mas que pareceu ter sentido para os estudantes. Júlia logo relacionou a aprendizagem com o experimento, ao solicitar uma explicação. A professora nem precisou explicar essa relação, já que José tomou a palavra e construiu a explicação para o fenômeno observado no experimento.

Com o auxílio das representações construídas e do experimento realizado com a régua atritada, professora e estudantes construíram uma explicação para a polaridade das moléculas investigadas. Após a explicação apresentada por José, descrita na transcrição acima, a professora fez um fechamento da discussão explicando o fenômeno observado por meio do experimento, tendo como base a diferença de polaridade entre as moléculas de água e as de metano.

Observamos que a educadora não retomou as hipóteses que as estudantes Júlia e Mariana levantaram em relação à polaridade das moléculas. Provavelmente isso aconteceu em função de sua pouca experiência com a abordagem baseada na proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações multimodais. Apesar de usar o discurso dialógico (MORTIMER; SCOTT, 2003) e, portanto, promover a interanimação de ideias, nesse momento a professora não problematizou

as ideias dessas duas estudantes. Júlia, no entanto, estava muito atenta aos resultados das representações informais (incorporada), e imediatamente os associou ao experimento.

A teatralização explorada pela professora ofereceu a Júlia e a Mariana – assim como aos outros estudantes – a oportunidade de perceberem que suas hipóteses eram inadequadas. Ao utilizar diferentes representações e estabelecer relações entre elas, a professora auxiliou Júlia, que havia lido na apostila os conceitos de “polar” e “apolar”, sem saber o significado desses conceitos, a perceber a polaridade da água e a não polaridade do metano. Com isso certamente a construção de significados foi facilitada.

A participação dos estudantes nas aulas e os argumentos construídos para justificar o fato de o par de elétrons compartilhado em uma ligação química estar mais próximo de um dos átomos, são indicativos de que eles podem ter compreendido o conceito de polaridade das ligações. A teatralização permitiu que eles visualisassem o conjunto de forças atuando na molécula e construíssem uma ideia inicial sobre polaridade das moléculas.

Tytler e colaboradores (2013b) discorrem sobre o desenvolvimento do raciocínio ao construir, refinar e justificar representações. Os autores classificam os processos de raciocínio que ocorrem nesse contexto em dois grupos. O primeiro deles refere-se aos processos de raciocínio por meio de representações que guiam a exploração de ideias e a investigação. Ao propor uma representação para a geometria das moléculas analisadas, tendo como base a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência, os estudantes organizaram suas percepções em um desenho, manipularam balões e o simulador digital como ferramenta de refino de suas representações e durante todas as etapas analisaram a coerência de suas representações em relação aos conceitos trabalhados. O segundo grupo de processos de raciocínio destacado pelos autores indica processos de raciocínio por meio de representações que visam desenvolver e dar sentido a ideias emergentes. As modificações realizadas nas representações pelos estudantes, a construção de representações para polaridade de moléculas, tendo como foco a explicação de um fenômeno observado, e o uso da teatralização indicam esforços para desenvolver habilidades de raciocínio para entendimento de fenômenos científicos.

A utilização da abordagem baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais possibilitou que conceitos de geometria

molecular e de polaridade tivessem sentido para os estudantes do Ensino Fundamental. Essa abordagem não se deu por meio do uso mecânico desses conceitos,, mas de uma construção coletiva para entender um fenômeno. E, nesse sentido, as representações foram fundamentais para guiar o raciocínio dos estudantes. Argumentamos que esses estudantes desenvolveram habilidades de raciocínio e autonomia, habilidades essas que fazem parte das diretrizes curriculares da instituição em que este trabalho foi desenvolvido. Nesse sentido, podemos afirmar que o trabalho realizado por meio de representações multimodais também está de acordo com os objetivos dessa instituição.

A geometria e a polaridade das moléculas envolvem conceitos de difícil assimilação e era esperado que estudantes do Ensino Fundamental tivessem dificuldade em lidar com eles. No entanto, o que observamos foi que esses estudantes se empenharam nas atividades com os balões e na teatralização e participaram das discussões usando conceitos de “nuvem eletrônica”, “eletronegatividade” e outros conceitos importantes com desenvoltura. Esse resultado é um forte indício de que eles se apropriaram desses conhecimentos e certamente terão mais facilidade em lidar com esses conceitos na etapa final da Educação Básica.

CAPÍTULO 05: DESAFIOS REPRESENTACIONAIS NO ENSINO DO MODELO CINÉTICO MOLECULAR

O conteúdo de modelo cinético molecular contemplou um conjunto de seis aulas de uma hora e quarenta minutos em uma turma de primeiro ano do Ensino Médio. Esse estudo consiste na compreensão de aspectos referentes às partículas que constituem um determinado material, o que inclui o tamanho e o número de partículas, a distância entre elas, a densidade, a existência de espaço vazio e a energia cinética envolvida (MORTIMER; MACHADO, 2012). As aulas que foram objeto desse estudo envolviam as partículas presentes em materiais de diferentes estados físicos. Essas aulas foram organizadas em torno de desafios representacionais e a professora conjugou aulas com abordagem baseada na proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações multimodais com aulas expositivas dialogadas.

O Quadro 03 traz uma breve descrição das atividades desenvolvidas nesse conjunto de aulas que contemplou o conteúdo de modelo cinético molecular.

Quadro 03: Descrição das atividades desenvolvidas no conjunto de aulas analisado

Aula	Descrição das atividades desenvolvidas na aula
01	Revisão/retomada dos triângulos que abordam os conhecimentos químicos (propriedade, constituição e transformação). Discussão sobre o conceito de modelo na Ciência. Atividade proposta: atividade do livro didático relacionada aos estados físicos da matéria.
02	Correção da atividade da Aula 01. Atividade proposta: realização dos experimentos de compressão do ar contido em uma seringa e aquecimento do ar dentro de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado. Construção e socialização das representações dos fenômenos observados.
03	Atividade proposta: realização de uma teatralização do fenômeno de compressão do ar contido em uma seringa e de aquecimento do ar dentro de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado. Proposição de uma representação para difusão de um gás, e teatralização do fenômeno.
04	Atividade proposta: realização do experimento de dilatação de um líquido no capilar de um termômetro, construção e socialização de representações do fenômeno observado. Construção e socialização de representações para o estado sólido, líquido e gasoso, seguida da realização de exercícios envolvendo o modelo cinético molecular.
05	Revisão/retomada das principais características do modelo cinético molecular.

	Correção dos exercícios da Aula 04.
06	Atividade proposta: avaliação experimental envolvendo o conteúdo do modelo cinético molecular.

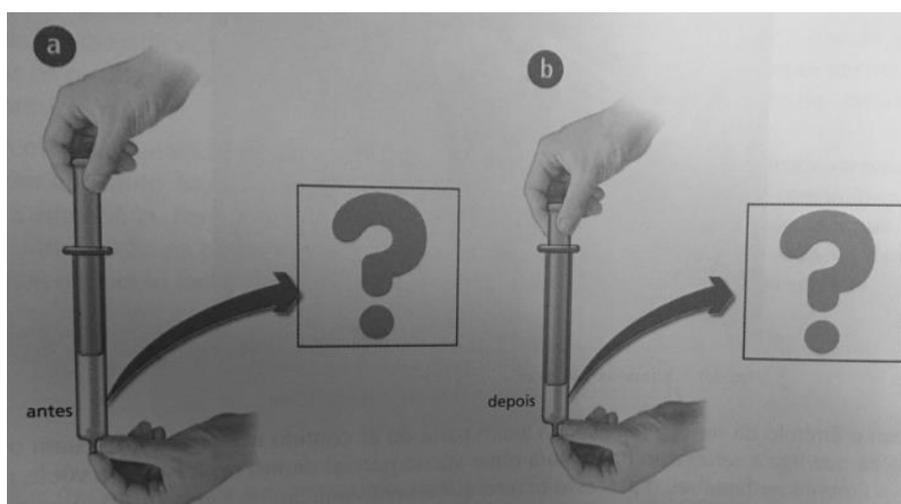
Fonte: Elaborado pela autora.

Organizamos a análise desses dados em quatro tópicos: a compressão do ar contido em uma seringa, o aquecimento de um erlenmeyer com um balão acoplado, a dilatação de um líquido no capilar de um termômetro e a proposição da representação dos estados físicos (sólido, líquido e gasoso). Passamos agora a comentar cada um desses tópicos.

5.1 A compressão do ar contido em uma seringa

A primeira atividade proposta pela professora para elucidar os aspectos do modelo cinético molecular envolveu um experimento de compressão do ar contido dentro de uma seringa. Os estudantes foram orientados a puxar o êmbolo de uma seringa, tampar com o dedo o orifício de saída de ar e, em seguida, pressionar o êmbolo da seringa, conforme ilustra a Figura 35.

Figura 35: Ilustração do experimento de compressão do ar contido dentro de uma seringa



Fonte: Mortimer e Machado (2012, p. 112)

Ao pressionar o êmbolo da seringa os estudantes sentiram uma pressão no dedo que estava fechando o orifício de saída de ar. Em um determinado ponto, os estudantes não conseguiram continuar movendo o êmbolo, já que o ar contido na seringa havia sido comprimido o máximo possível, levando em conta os instrumentos utilizados.

Os estudantes realizaram o experimento em grupos de seis integrantes e, em seguida, a professora orientou que elaborassem suas próprias representações submicroscópicas do sistema de partículas, antes e após a compressão do ar dentro da seringa, antes de terem contato com as representações canônicas para o fenômeno. O diálogo entre os integrantes do Grupo 5 durante a elaboração da representação evidencia que os estudantes desse grupo tinham consciência de alguns aspectos do modelo cinético molecular. A seguir, um trecho da transcrição desse diálogo e a representação construída pelo grupo (Figura 36).

Carlos: *Tem ar aqui dentro e ele está ocupando espaço. Ele está muito distante um do outro. Aí a gente vai apertando, e acaba que vai ficando mais difícil de pressionar, porque vai ficando muito próximo.*

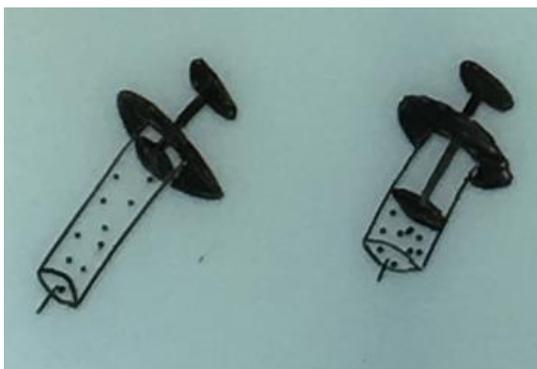
Maria: *(Inaudível)*

Carlos: *Porque elas estão mais próximas. Desenha aqui o ar bem separado e aqui mais junto. Desenha a seringa, né?*

Maria: *Vocês colocaram as partículas próximas, né? Mas nem tanto.*

Carlos: *Não pode ficar coladinha, senão já é sólido.*

Figura 36: Representação do Grupo 5 para o sistema de compressão do ar contido dentro da seringa.



Fonte: Elaborado pela autora.

Além de explicitarem, durante o diálogo, a existência de um espaço vazio entre as partículas e também a diminuição desse espaço mediante a compressão do gás, Carlos e Maria, do Grupo 5, corrigiram a fala de um colega indicando que as partículas não poderiam ficar muito próximas, mesmo com a compressão, para não caracterizar o estado físico sólido.

A Figura 36 corresponde à representação construída pelo Grupo 5, representativa de toda turma. Os estudantes levaram em conta a diminuição do espaço vazio entre as partículas após a compressão, mas não indicaram o movimento dessas partículas e não representaram a mesma quantidade de partículas antes e

após a compressão. Durante a socialização da representação com a turma, a professora questionou um dos aspectos que não foi contemplado na representação, conforme trecho transcrito desse momento da aula:

Carlos: *No início estava muito espalhado. O gás ocupa todo o espaço disponível. Aí quando a gente comprime o ar, ele fica mais próximo.*

Professora: *Quem acrescentaria ou mudaria alguma coisa na representação do grupo? Alguém sentiu falta de alguma coisa na representação? Algum aspecto que vocês acham que não foi contemplado por eles?*

(Alunos falam ao mesmo tempo)

Professora: *Todo mundo representou a mesma coisa? Então vou fazer uma pergunta. Faz diferença o número de partículas representadas antes e depois?*

Carlos: *Faz.*

Professora: *Qual a diferença?*

Carlos: *Tem que ter a mesma quantidade.*

Professora: *Por quê?*

Carlos: *Porque nenhuma partícula escapou da seringa. O sistema está fechado.*

Professora: *O sistema está fechado, né? Então eu deveria representar o mesmo número de partículas. Aqui foi, Grupo 5? Vamos ver. 2, 4, 6, 8, 9, 10 (Apontando para a primeira representação). 2, 4, 6, 8, 9 (apontando para a segunda representação). Por que, Grupo 5, vocês representaram mais partículas aqui (aponta para a primeira representação)? Vocês não pensaram nisso na hora de representar?*

(...)

Professora: *Quais as considerações de vocês sobre esse aspecto da representação?*

Carlos: *A gente queria dar ênfase. Mostrar que as partículas estão mais próximas. Mas a gente não pensou em desenhar a mesma quantidade, mas a gente sabe que tem a mesma quantidade.*

Professora: *Então vocês queriam dar ênfase. Vamos conectar aqui. (...) um modelo precisa ter coerência com aquilo que eu observo. Quer dizer, com o que eu quero representar. Então se vocês estavam com um sistema fechado, em termos de números de partículas, o que precisa acontecer?*

Carlos: *Tem que ter o mesmo número de partículas.*

Professora: *Nessa primeira representação ninguém pensou em considerar isso. Vocês falaram. Mas na hora de desenhar não consideraram isso. E em relação à densidade, por exemplo. A densidade do gás. Mudou a densidade do gás? A densidade do gás antes e depois da compressão é a mesma?*

Carlos: *A densidade muda. O número de partículas é o mesmo, mas o volume diminuiu. Então a densidade aumenta.*

O fato de os estudantes do Grupo 5 não terem se atentado para a conservação das partículas no sistema fechado mostra que havia limitações entre o que sabiam e a forma como representavam. Apenas com a intervenção da professora em relação a esse item, a quantidade foi repensada, o que pode ter auxiliado esses estudantes a aumentarem a consciência em torno da representação.

Segundo Prain e Waldrip (2006), a criação e a manipulação de representações sustentam a aprendizagem porque reforçam conteúdos aprendidos anteriormente, permitem que o estudante refine a interpretação de dado fenômeno, e capacitam o estudante a identificar um conceito ou uma abstração subjacente entre os modos ou dentro do mesmo modo de representação. Ao questionar os estudantes em relação aos aspectos presentes em suas representações, a professora possibilitou que eles refletissem sobre o que tinha sido elaborado e auxiliado na compreensão do significado das representações. Nesse caso, os estudantes precisavam representar a mesma quantidade de partículas no sistema antes e após a compressão para que a representação construída fosse condizente com a conservação de massa do sistema.

Consideramos como representação submicroscópica aquela que traz algo que não pode ser visto, e como macroscópica aquela que representa um objeto ou algo que pode ser percebido pelo olho humano. Quando o estudante faz uso de representações submicroscópicas e macroscópicas, simultaneamente, a exemplo do experimento sob análise, ele pode estar formando concepções alternativas¹⁰ sobre a constituição da matéria, uma vez que pode ser construída a ideia de que uma partícula não é algo submicroscópico, e que, dentro da seringa possam existir apenas umas poucas partículas. Quando partimos de um experimento e de uma explicação de um fenômeno observado macroscopicamente é indicado que os estudantes sejam orientados a fazer um *zoom* para representar o sistema submicroscópico. Durante a construção dessa representação submicroscópica é necessário enfatizar que o *zoom* corresponde à representação de uma pequena parcela do sistema.

Quadros e Giordan (2019) discorrem sobre a utilização de múltiplas representações e representações multimodais, também, no contexto do modelo

¹⁰ **Concepções alternativas:** entendimento sobre um conceito ou fenômeno em discordância da explicação científica.

cinético molecular. Os autores relatam o esforço empreendido por uma professora ao realizar a transição de uma representação macroscópica para uma representação que tinha como foco relatar o ocorrido submicroscopicamente. Em um dos episódios da aula analisada, a professora investigada por eles questionou o fato de um grupo de estudantes ter desenhado as partículas dentro de uma seringa, optando por não mostrar o *zoom* do sistema, comparando com outro grupo que havia usado esse *zoom*. Os estudantes argumentaram que o objetivo era enfatizar que a quantidade de partículas é constante durante a realização do experimento de compressão da seringa. A professora, por sua vez, advertiu sobre o risco de a representação do mundo macroscópico e submicroscópico em um mesmo desenho reforçar, nesse caso, a concepção alternativa de que a quantidade de partículas representadas dentro da seringa é, realmente, a quantidade de partículas contidas nesse espaço.

No conjunto de aulas analisado por nós isso não aconteceu. Quando os estudantes fizeram a representação das partículas submicroscópicas no interior da seringa, acreditamos que essa representação teve um papel limitado em fazer com que os estudantes entendessem o mundo submicroscópico. A transição entre uma representação macroscópica e uma representação submicroscópica foi abordada posteriormente, em momentos não contemplados no conjunto de aulas que analisamos para o presente trabalho.

Durante a entrevista semiestruturada realizada com a professora questionamos o motivo pelo qual a quantidade de partículas não foi problematizada junto aos estudantes, tendo sido aceita a utilização de representações macroscópicas e submicroscópicas em um mesmo sistema. Segundo ela, o estudo do modelo cinético molecular abarca uma série de conceitos e propriedades, o que a leva a optar por trabalhar esses aspectos quando inicia o estudo da quantidade de matéria. Ao fazer essa opção, apenas quando a massa atômica e a massa molecular são estudadas é que a professora retoma as representações e insere o *zoom* como uma necessidade para mostrar a quantidade de partículas presentes.

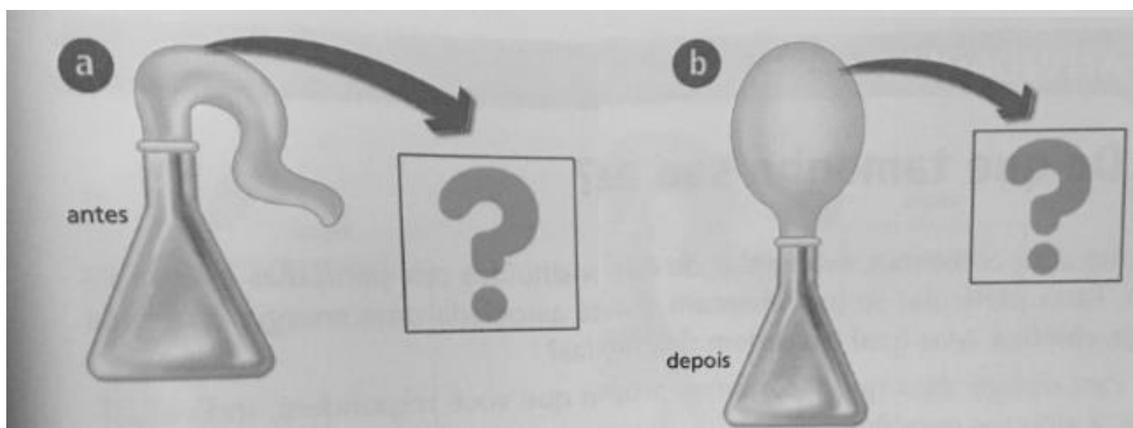
Segundo ela, essa opção tem como objetivo não “sobrecarregar” os estudantes nessa parte do conteúdo que introduz o modelo cinético molecular. Com isso, ela acredita ter mais tempo para focar outras propriedades desse modelo. Como pesquisadoras que observam as aulas e a desenvoltura desses estudantes com a representação de partículas, acreditamos que conceitos relacionados à quantidade de matéria já poderiam ter sido inseridos nesse momento das aulas. Como podemos ver

na transcrição de parte da discussão ocorrida no Grupo 5, os estudantes já conheciam parte das propriedades necessárias para representar partículas, como é o caso do distanciamento das partículas de gás comprimido, diferenciando-as de um líquido ou de um sólido.

5.2 O aquecimento de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado

A segunda atividade que compõe essa análise é o experimento de aquecimento de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado, seguida da proposição de uma representação para o sistema. O erlenmeyer foi posto em uma chapa elétrica para aquecimento, e os estudantes foram orientados a observar as possíveis modificações no sistema. A Figura 37 ilustra o experimento realizado pela turma.

Figura 37: Ilustração do experimento de aquecimento do erlenmeyer



Fonte: Mortimer e Machado (2012, p. 113)

Os estudantes observaram o aumento do volume do balão ocasionado pela expansão das partículas de ar contidas no sistema durante o aquecimento. Em seguida, a professora solicitou que os estudantes representassem, com um desenho, o sistema de partículas antes e após o aquecimento. Destacamos um trecho da transcrição do diálogo entre os integrantes do Grupo 2 durante a construção da representação, reproduzida na Figura 38:

Pedro: *Aí, vai crescer e vai agrupar mais, né?*

Marcelo: *Não, vai separar.*

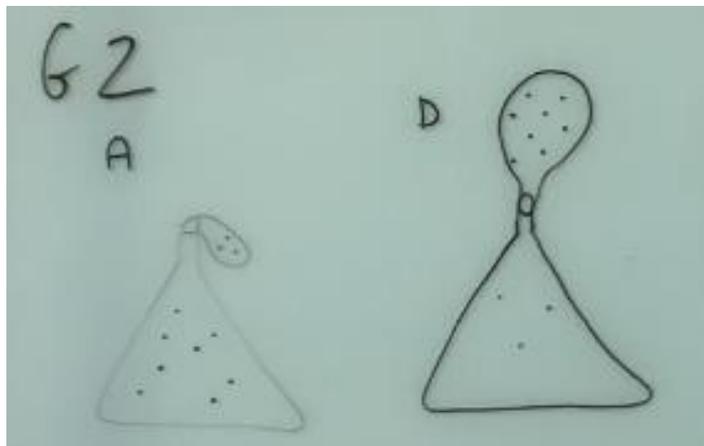
Carolina: *Quando aumenta a temperatura de uma coisa, aumenta o volume dela também. Então o volume dela fica maior.*

Marcelo: *1, 2, 3, 4, 5*

Pedro: *Fica maior? Ela agita mais.*

Marcelo: *Sim. Ele fica maior. Ele agita mais. Tem um experimento que você coloca água no liquidificador e fica batendo a água: você coloca ela lá e deixa batendo. Você coloca o termômetro e vai ficar mais quente.*

Figura 38: Representação do Grupo 2 para o aquecimento do erlenmeyer



Fonte: Elaborado pela autora.

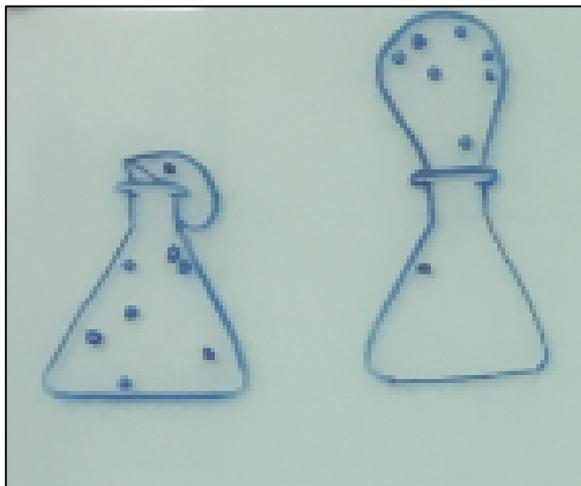
Marcelo, integrante do Grupo 2, realizou a contagem das partículas representadas, antes e após o aquecimento do erlenmeyer. O cuidado com o número de partículas evidenciou que o Grupo 2 estava atento ao princípio de conservação de massa do sistema, aspecto do modelo cinético molecular discutido entre professora e os estudantes na atividade envolvendo a compressão do ar dentro da seringa. O Grupo 2, durante o processo de construção da primeira representação para o fenômeno, logo associou o aumento do volume do sistema com o aumento da temperatura, embora não tenha utilizado o conceito de energia cinética.

Os estudantes desse grupo comentaram sobre um novo fenômeno. Marcelo relatou um experimento no qual é mensurada a temperatura de uma porção de água no liquidificador antes e após a agitação do líquido. A utilização de conceitos e ideias científicas em um contexto diferente do apresentado pela professora pode ser um indicativo de que esses estudantes compreenderam e internalizaram o conceito em questão.

As representações de todos os grupos contemplaram a expansão do gás inicialmente presente no erlenmeyer e, em consequência, o aumento do volume do balão. A representação de aspectos macroscópicos e submicroscópicos, simultaneamente, também foi comum a todos os grupos. Os grupos 1, 2 e 5 não distribuíram as partículas de forma homogênea após o aquecimento do sistema. Os grupos 3, 4 e 6 distribuíram as partículas igualmente por todo o sistema. Os

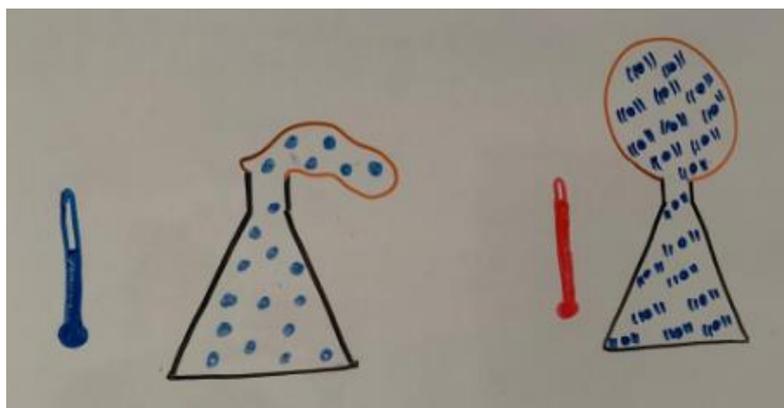
estudantes do Grupo 4 incluíram em sua representação a ideia de movimento das partículas, mas o fizeram apenas na representação do sistema após o aquecimento. A seguir, as Figuras 39 e 40 com as representações dos grupos 1 e 4, respectivamente, para o sistema em questão.

Figura 39: Representação do Grupo 1 para o aquecimento do erlenmeyer



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 40: Representação do Grupo 4 para o aquecimento do erlenmeyer



Fonte: Elaborado pela autora.

A professora escolheu a representação do Grupo 4 (Figura 40) para dar início à discussão das representações. A estudante Helena, componente desse Grupo, protagonizou a discussão e questionou os colegas em relação ao fato de as partículas não estarem distribuídas uniformemente no sistema. A seguir um trecho da transcrição desse momento da aula:

Helena: *O que acontece nessa situação é que quando uma substância fica em uma temperatura mais alta a energia dela aumenta e ela precisa ocupar mais espaço. Já que o balão é um sistema fechado, não vai sair nenhum ar por aqui, então a mesma quantidade de massa vai ocupar um espaço maior.*

Professora: *Então a energia final aqui vai ser maior. Alguém acrescentaria alguma coisa aqui na representação?*

João: *O ar quente é menos denso, no caso ali vai ter menos moléculas no erlenmeyer do que no balão.*

Professora: *Mas vai aquecer tudo. Olha o sistema aqui.*

João: *É porque o ar quente sobe.*

Helena: *Você acha que tem mais partículas no balão do que no recipiente?*

João: *É.*

Helena: *Por quê?*

João: *Porque o ar quente é menos denso que o ar frio, aí ele sobe.*

(...)

Helena: *Você está certo. O ar quente vai para cima. Mas forma uma corrente, o que está embaixo vai aquecer e subir também.*

João: *Então tem a mesma quantidade no balão e no erlenmeyer?*

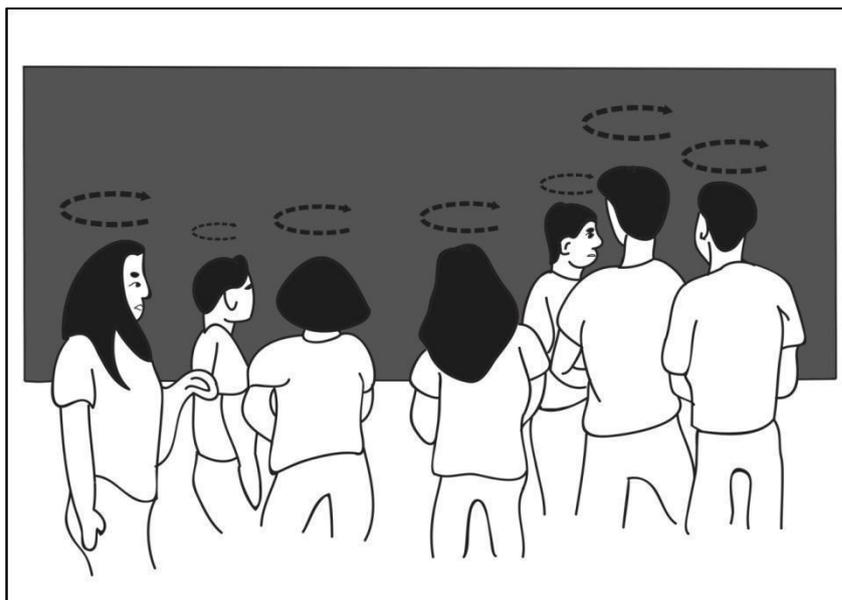
Helena: *Se eles fossem do mesmo tamanho, sim. Mas como não é, não é que é a mesma quantidade. Aqui tem menos, porque está menor (Helena aponta para o erlenmeyer).*

Ao explicar a representação que construíram, a estudante Helena utilizou como argumento o fato de que a elevação da temperatura aumenta a energia do sistema. Porém, quando João, do Grupo 2, fez um comentário em relação ao número de partículas no erlenmeyer e no balão, em função de uma corrente de convecção que se formou dentro do sistema, Helena utilizou conceitos como densidade e energia cinética (embora não tenha utilizado os termos) para explicar ao colega a distribuição homogênea de partículas no sistema. A partir das explicações de João, Helena mostrou a sua própria linha de raciocínio, que considerava a energia cinética e se aproximava da explicação canônica para o fenômeno em questão. João, por sua vez, não construiu novos argumentos para sustentar sua afirmação inicial de que as partículas se concentravam no balão, possivelmente por ele não ter refletido criticamente sobre o fenômeno em discussão.

A ideia de João (Grupo 2) de que as partículas, após o aquecimento do sistema, iriam se concentrar no balão, em função da diminuição da densidade, é uma lógica de pensamento dos estudantes que nem sempre é conhecida pelos professores. A utilização de representações estáticas, como o desenho, pode reforçar essa concepção alternativa, devido à dificuldade de pensar nessas partículas em termos de movimento, uma vez que o desenho não permite representar facilmente a corrente de convecção formada.

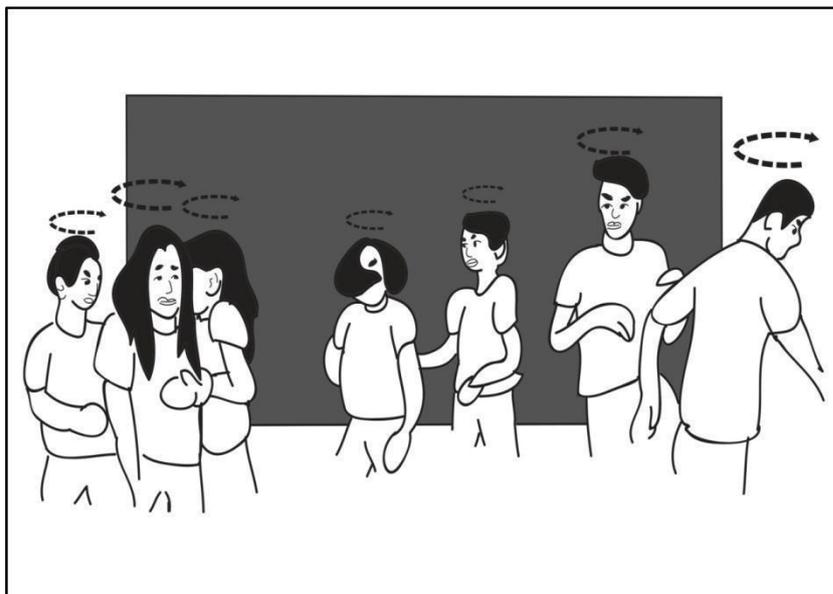
A professora, então, solicitou que os estudantes usassem o próprio corpo para, em grupo, representarem as partículas antes e durante o aquecimento, processo esse que chamamos de representação incorporada ou teatralização. Com isso, ela permitiu que os estudantes explorassem outros modos semióticos e reelaborassem a representação construída para o sistema de partículas dentro do erlenmeyer antes e após o aquecimento. As Figuras 41 e 42 fornecem uma ideia do que foi essa representação.

Figura 41: Teatralização das partículas no sistema erlenmeyer e balão antes do aquecimento



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 42: Teatralização do sistema de partículas do sistema erlenmeyer e balão durante o aquecimento



Fonte: Elaborado pela autora.

Sete estudantes participaram da teatralização. Eles utilizaram a fala para explicar a delimitação do espaço correspondente ao erlenmeyer. Em seguida, iniciaram os movimentos de vibração, rotação, translação e movimentos aleatórios para os lados. Conforme o sistema recebia energia, também indicado na fala dos participantes, o movimento dos estudantes tornou-se mais amplo e eles foram preenchendo outros espaços da sala, indicando o aumento do volume do sistema. Quando eles terminaram essa teatralização a professora fez alguns questionamentos aos participantes. A seguir, apresentamos um trecho da transcrição desse momento da aula:

Professora: *Então vocês conseguiram colocar a expansão, o espaço, o giro, o deslocamento. Mas uma coisa faltou, não faltou não? O que faltou gente?*

Helena: *Faltou o fogo.*

Professora: *Faltou representar o quê?*

Helena: *O aumento das interações.*

Professora: *O aumento das interações. Isso é como se você tivesse fazendo alguma coisa mais lenta e depois tem que fazer mais rápido. Está recebendo energia!*

A professora ressaltou os aspectos do modelo cinético molecular contemplados na teatralização realizada. Ela destacou que era preciso que estivessem atentos ao aumento gradativo dos movimentos das partículas, já que os participantes da teatralização se movimentaram de forma constante durante toda a encenação. O

modo semiótico da teatralização permitiu que os estudantes explorassem e explicitassem o movimento das partículas com o próprio corpo. Notamos que eles apresentaram consciência da existência dos movimentos que as partículas realizavam, mas a ideia de que o aumento da temperatura propiciava um aumento da velocidade do movimento parecia não estar clara para eles. Logo após a socialização da teatralização, a professora retomou a análise das representações registradas no quadro. A seguir um trecho da transcrição desse momento da aula:

Helena: *É porque quando a gente imagina com uma imagem estática fica difícil. Na verdade, as moléculas ficam vibrando. E no gás, como o movimento é maior, elas precisam de mais espaço para vibrar.*

Professora: *Parênteses (professora faz o gesto de parênteses com as mãos). Esse movimento está representado no modelo que vocês desenharam?*

Estudantes: *Não!*

Professora: *Não? Poderia estar?*

Estudantes: *Sim.*

Professora: *Como poderia?*

Henrique: *Setinha.*

Professora: *Vocês falaram de um aspecto que nós nem retratamos no primeiro, né? Vocês estão dizendo que o gás movimenta! Como eu retrato isso no meu modelo? Existe alguma maneira de retratar? Nós não estamos discutindo que é importante que o modelo tenha conexão com o fenômeno? Então eu preciso prestar atenção em alguns detalhes. O que vocês acham da sugestão da nossa colega (Helena)? A sugestão dela é colocar um negocinho tipo aquele ali (a professora aponta para o desenho de uma aspa no quadro). Que negócio é esse? Uma aspa. Que representa que está agitando.*

(...)

Helena: *As partículas, elas começam a ter mais energia e se movimentam mais.*

Professora: *Elas se movimentarem mais quer dizer que já se movimentavam sem receber energia?*

Estudantes: *Sim.*

Professora: *Sim. Isso está representado? Então, olha só. Vocês concordam com isso? Todo mundo concorda com isso?*

Estudantes: *Sim.*

Professora: *O gás se movimentava antes do aquecimento?*

Estudantes: *Sim.*

Professora: *As partículas têm movimento. As partículas de gás têm movimento. Como eu posso representar isso ali (professora aponta para o quadro)? Vocês acham que o que está desenhado ali está suficientemente representado?*

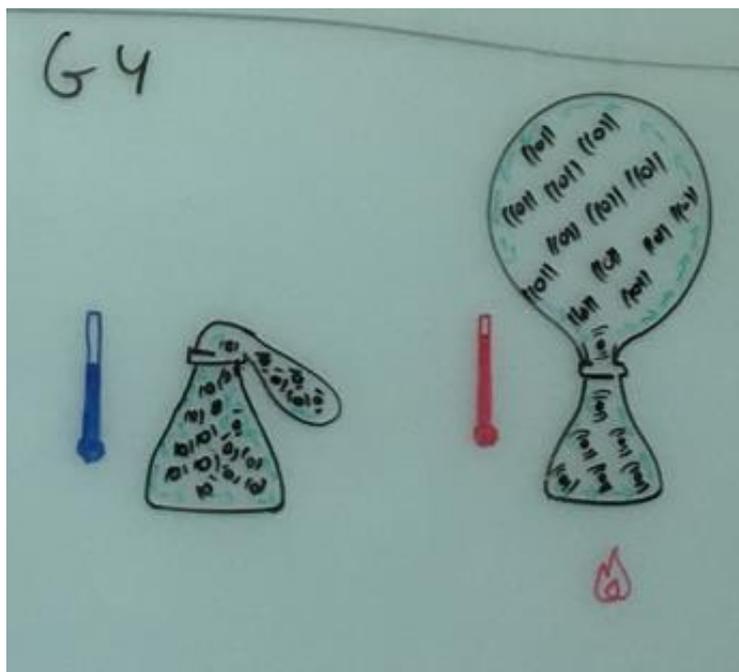
Estudantes: Não.

Professora: *Por que não? O que falta? Cada um vai até o seu desenho e reformula. Vê o que tem que mudar.*

A professora utilizou a linguagem como meio mediacional para que os estudantes explicassem as adequações necessárias na representação que tinham construído por meio da teatralização. Os estudantes afirmaram que partículas no estado gasoso apresentavam movimento e que esse movimento aumentava com o aumento da energia do sistema e, após essa breve discussão com a professora, refizeram as próprias representações.

Destacamos a representação do Grupo 4 (Figura 43), que havia indicado o movimento das partículas apenas após o aquecimento do erlenmeyer. No diálogo transcrito pudemos perceber que a estudante Helena fez uma observação em relação às representações em forma de desenho. Segundo ela, representações estáticas, como o desenho, são maneiras limitadas de representar, já que o movimento não aparece. A realização da teatralização permitiu que os estudantes explorassem a representação do movimento das partículas e incorporassem esse aspecto ao desenho, simbolizando esse movimento com aspas. Cada representação tem suas próprias restrições, como a estudante Helena foi capaz de elucidar, e ao navegar entre diferentes modos ou diferentes representações, os estudantes entram em contato com o que Tytler e colaboradores (2013a) denominam de restrições produtivas. Uma descrição que abrange todos os aspectos de um conceito ou fenômeno demanda a utilização de diferentes representações, e cada representação é capaz de elucidar determinadas características do conceito/fenômeno tratado. A Figura 43 mostra a representação reelaborada pelo Grupo 4.

Figura 43: Reelaboração da representação do Grupo 4



Fonte: Elaborado pela autora.

Podemos observar que o Grupo 4 usou aspas simples para representar o movimento das partículas gasosas em temperatura ambiente e aspas duplas para representar o movimento das partículas quando o sistema foi aquecido. Dessa forma, os estudantes deram à representação estática uma propriedade percebida durante a teatralização. Com isso observamos que a representação informal ou incorporada auxiliou na construção da representação formal.

Após a socialização das representações reformuladas, a professora fez o fechamento da atividade e solicitou aos estudantes que listassem os aspectos importantes de serem registrados em uma representação das partículas contidas em um dado recipiente. A seguir, um trecho da transcrição desse momento:

Professora: Olha só, gente. Nesses dois momentos aqui, duas coisas a gente pode tirar sobre a constituição do gás. Quais são elas? Se eu perguntar para vocês agora: de que o gás é constituído, o que vocês poderiam me responder?

Marcelo: De partículas.

Professora: O gás é constituído de partículas. Só isso?

Pedro: Partículas que se movimentam.

Professora: E esse espaço vazio que a gente começou a discutir? E essas partículas têm quais características?

Marcelo: Tem espaço vazio entre as partículas. No líquido o espaço vazio é menor que no gasoso.

Helena: *Elas se movimentam.*

Professora: *Elas possuem movimento. E esse movimento está associado a um tipo de energia.*

Estudantes: *Energia cinética.*

Professora: *Aqui vocês registraram a energia cinética?*

Pedro: *Está ligada à temperatura. Ali a energia térmica virou cinética.*

Professora: *Então eu posso começar a construir um modelo que vai me dar a constituição desse gás.*

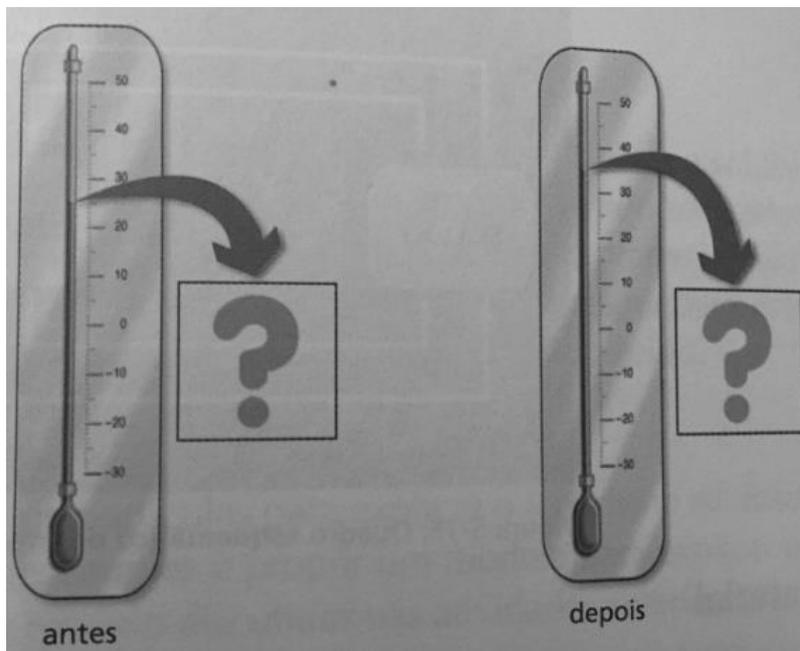
Os estudantes prontamente apresentaram respostas sobre os aspectos abordados nas representações construídas: a presença e o movimento de partículas e o aumento desse movimento em decorrência do fornecimento de energia para o sistema. Pareceu-nos que o uso de diferentes modos semióticos, aliado à discussão e socialização de representações, permitiu que os estudantes compreendessem as características do sistema de partículas dentro do erlenmeyer antes e após o aquecimento. As representações evoluíram em termos de correspondência com o fenômeno retratado, como podemos visualizar comparando as representações das Figuras 40 e 43. Inicialmente (Figura 40) os estudantes não haviam retratado os movimentos das partículas antes do aquecimento do sistema. Após a socialização com a turma e a realização da teatralização os estudantes foram capazes de representar (Figura 43) o movimento das partículas antes e após o aquecimento do sistema. Podemos argumentar que foi o uso de outro modo semiótico (a teatralização) que propiciou o entendimento do movimento das partículas e a sua correspondente representação.

5.3 A dilatação de um líquido no capilar de um termômetro

A terceira atividade selecionada para análise neste trabalho foi o experimento de dilatação do líquido contido no capilar de um termômetro. Os estudantes, com o auxílio de um termômetro analógico, mensuraram a temperatura corporal de um dos integrantes do grupo e a temperatura de uma amostra de água. Primeiro envolveram o bulbo do termômetro na mão fechada e mensuraram a temperatura corporal, e em seguida, mensuraram a temperatura de uma amostra de água, emergindo o bulbo do termômetro em um recipiente com água aquecida. A Figura 44 ilustra a primeira parte

do experimento realizado, sendo o “antes” relativo à temperatura ambiente e o “depois” à temperatura corporal.

Figura 44: Ilustração do experimento de dilatação de um líquido



Fonte: Mortimer e Machado (2012, p. 117)

Os estudantes observaram, nas duas situações, que o líquido presente no capilar do termômetro dilatou com o aumento da temperatura. A velocidade de dilatação do líquido foi maior na amostra de água aquecida, que apresentava uma temperatura superior à temperatura corporal. Após a observação da dilatação do líquido no termômetro, organizados em grupos, os estudantes foram convidados pela professora a construir uma representação, em forma de desenho, para ilustrar o que ocorre durante a dilatação do líquido, em nível de partículas. Destacamos trechos de discussões entre os estudantes do Grupo 2 durante a construção dessa representação, e a Figura 45, com a representação construída:

Carolina: Quando eu peguei ele pela primeira vez e coloquei o dedo lá ele saiu do 28 (graus) foi para o 33 (graus). É para a gente desenhar.

(...)

João: Mas a gente vai fazer o quê antes da dilatação?

Carolina: Você coloca as partículas juntas e depois separadas.

Marcelo: Dilatação do quê?

Carolina: Das partículas do termômetro, do álcool.

João: Beleza, estamos a 34°.

Marcelo: Subiu para 37°.

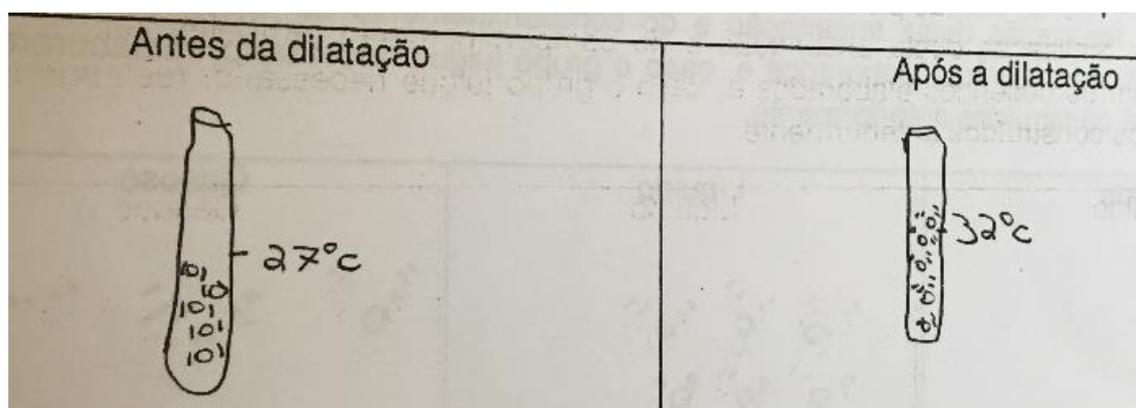
(...)

Pedro: *É a coisa mais tranquila de fazer. Primeiro você faz um pontinho aqui depois um pontinho ali.*

Carolina: *Vai fazer dois termômetros. Em um a temperatura vai estar mais baixa do que no outro.*

Pedro: *Vão estar menos agitadas as partículas. Vai ter menos volume. Depois aumenta a energia, elas vão ficar mais longe.*

Figura 45: Representação inicial do Grupo 2 para a dilatação do líquido no interior do termômetro



Fonte: Elaborado pela autora.

Por meio da transcrição das falas dos estudantes do Grupo 2 enquanto elaboravam a representação para o fenômeno (Figura 45) foi possível perceber que eles compreenderam com limitações o fenômeno de dilatação de um líquido em termos submicroscópicos. Como resultado das atividades anteriores, foi possível perceber que eles entenderam o conceito de energia cinética e sua correlação com o aumento do volume do líquido no capilar do termômetro. No entanto, de modo semelhante à representação do aquecimento de um erlenmeyer acoplado a um balão, o Grupo 2 representou de forma limitada o sistema de partículas, ao mesclar em sua representação aspectos macroscópicos e submicroscópicos. O fato de as partículas terem sido representadas como pequenas esferas, em desacordo com as representações canônicas de um sistema de partículas, pode reforçar a ideia de que elas não são a menor parte da matéria e que pode existir “algo” dentro delas.

Em mais uma rodada de discussões a professora fez questionamentos considerando as representações feitas no quadro pelos seis grupos. A seguir, transcrevemos um trecho da discussão em que os estudantes dos grupos 1 e 5 justificaram as representações e, em seguida, reproduzimos as representações (Figuras 46 e 47) feitas por esses grupos:

Professora: Grupo 1, por favor, quais aspectos vocês acharam importante registrar desse fenômeno aí?

Mateus: A gente representou o aquecimento do termômetro.

Professora: Representaram como?

Mateus: Teve a representação da dilatação do material e o aumento da vibração, do movimento das partículas.

Professora: Aqui você fez um tracinho e aqui você fez dois. Por quê?

Mateus: Dois tracinhos têm mais movimento.

Professora: Tem mais algum aspecto importante? A dilatação, né? O mesmo número de partículas foi mantido? Todo mundo manteve o mesmo número?

Mateus: Manteve.

Professora: E aqui, Grupo 5. O que vocês desenharam aqui?

Carlos: Termômetro e as partículas se movendo.

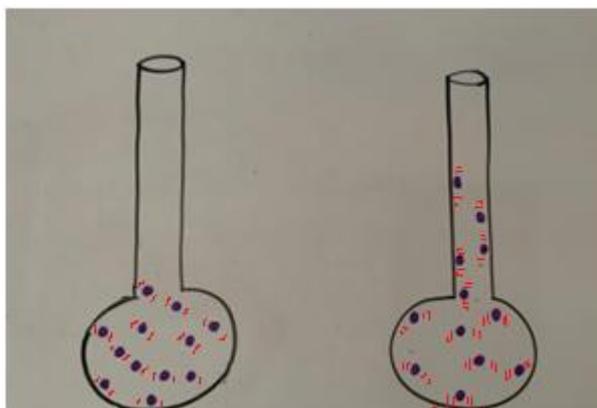
Professora: Mas quais aspectos estão envolvidos aqui?

Carlos: Agitação das partículas.

Professora: Mas eu não sei como isso está representado aqui. Uma setinha fina e uma grossa?

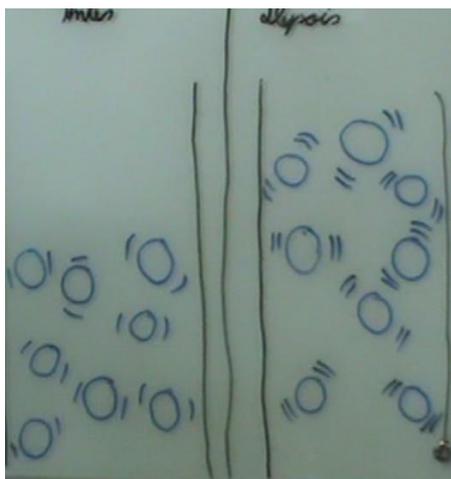
Estudantes: É.

Figura 46: Representação do Grupo do 1 para a dilatação do líquido no interior do termômetro



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 47: Representação do Grupo 5 para a dilatação do líquido no interior do termômetro



Fonte: Elaborado pela autora.

Os estudantes foram convidados a representar um sistema de partículas em aquecimento para retratar a influência da temperatura no movimento das partículas em um líquido. Os estudantes dos grupos 1 e 5 retrataram com coerência o aumento da energia cinética do sistema por meio do aumento da distância entre as partículas e de seu movimento, simbolizado por aspas. Aspectos como a conservação da matéria, discutidos em momentos anteriores, já tinham sido internalizados pelos estudantes. Entretanto, comparando as representações referentes ao sistema de partículas de um líquido e de um gás, pareceu-nos que os estudantes representaram os dois estados físicos de forma muito semelhante. Há semelhanças na distância atribuída tanto às partículas de líquidos quanto às dos gases, e também na representação do movimento em ambos os estados físicos. Embora soubesse que eram aspectos difíceis de serem representados na forma de desenho, a professora optou por não problematizá-los naquele momento.

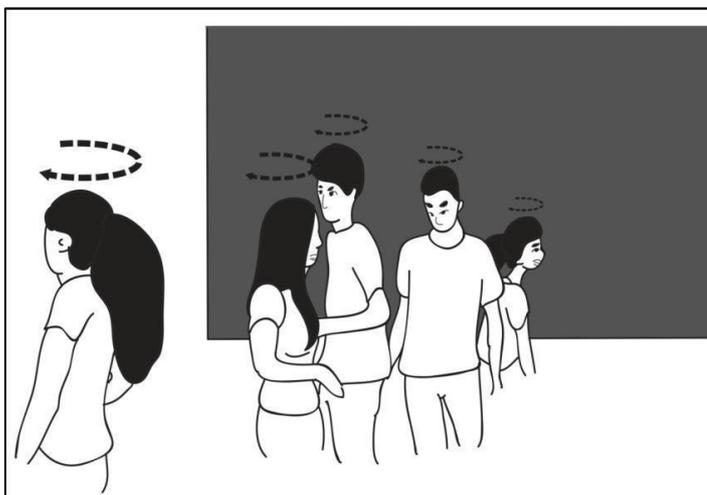
Após a etapa de socialização das representações, os estudantes realizaram uma teatralização do comportamento das partículas no sistema investigado. Cinco estudantes representaram as partículas de álcool dentro do capilar do termômetro. Eles delimitaram o espaço referente ao capilar com cadeiras. Iniciaram a teatralização realizando movimentos de vibração e pequenos movimentos para os lados, mas mantendo-se próximos uns dos outros. Indicaram que a temperatura estava aumentando, utilizando a fala, e aumentaram a intensidade dos movimentos e a distância que separava cada um dos estudantes. As Figuras 48 e 49 apresentam os dois momentos da teatralização em questão.

Figura 48: Teatralização do sistema de partículas líquidas sem aquecimento



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 49: Teatralização do sistema de partículas líquidas com aquecimento



Fonte: Elaborado pela autora.

Quando os estudantes utilizaram o recurso de teatralização para representar o sistema de partículas no interior do erlenmeyer com um balão acoplado eles realizaram movimentos constantes, equívoco que foi indicado pela professora. Durante a teatralização do sistema de partículas líquidas, no interior do capilar de um termômetro, os estudantes realizaram movimentos de rotação e movimentos aleatórios de forma mais amena e foram aumentando a intensidade do movimento gradativamente. Ao término da teatralização, a professora retomou esses aspectos com os estudantes e explicitou a diferença entre os movimentos realizados nas duas encenações.

Nas representações dos grupos 1, 2 e 5, na forma de desenho, o movimento das partículas foi projetado por meio de pequenos risquinhos junto a elas, conforme as Figuras 45, 46 e 47. Porém, apenas com a teatralização é que o aumento gradual

desse movimento e o movimento de vibração das partículas puderam ser materializados e, assim, entendidos.

Novamente ressaltamos que as representações em desenho se mostraram limitadas pelo fato de os estudantes utilizarem simultaneamente o sistema macroscópico e o submicroscópico. Reafirmamos a importância de que os estudantes sejam orientados, nesse caso, a fazer um *zoom* para representar o sistema submicroscópico, enfatizando que esse *zoom* corresponde à representação de uma pequena parcela do sistema.

Como já ressaltado, durante a entrevista a professora esclareceu se tratar de uma opção própria e, por isso, ela não questionou os estudantes em relação ao fato de mesclarem, em suas representações, aspectos macroscópicos e submicroscópicos sem se valerem de um *zoom* do sistema, de modo a enfatizar que a representação construída é apenas um pequeno recorte do sistema. Outro aspecto também não questionado pela professora foi a escolha por representar as partículas como pequenas esferas. Esse aspecto, presente nas representações das partículas do líquido no capilar do termômetro, ficou ainda mais em evidência na representação do Grupo 5 (Figura 47). Quando representamos as partículas de um sistema, representamos sua menor porção de matéria. A representação de partículas como esferas pode possibilitar a permanência da concepção alternativa de que existe algo dentro das partículas, e que elas não são as menores partes da matéria. Porém, em alguns momentos, a professora comentou que esses aspectos seriam trabalhados em outro momento.

Esse tópico também foi abordado na entrevista semiestruturada realizada com a professora. A educadora afirmou que o tamanho das partículas, assim como a representação dos aspectos macroscópicos e submicroscópicos, são tópicos comumente abordados quando os estudantes são inseridos nas discussões relativas à quantidade de matéria. Portanto, a representação de uma pequena “bolinha” com espaços no meio, que poderia levar a concepções alternativas (PENA; QUADROS, 2020), seria explorada em outro momento pela professora.

Como percebemos que os estudantes representaram a dilatação de partículas líquidas e gasosas de forma muito semelhante em termos de distância entre as partículas e de quantidade de movimento, no próximo item dirigimos o olhar para o trabalho realizado pela professora em relação aos estados físicos da matéria.

5.4 Representação dos estados físicos

A última atividade realizada pela professora, que faz parte dessa análise de dados, foi a retomada das representações para os três estados físicos da matéria: sólido, líquido e gasoso. Como os estudantes já estavam familiarizados com a representação de partículas, nesse momento a professora orientou que os estudantes listassem as características de cada estado físico e representassem essas características em nível de partículas. A atividade foi proposta para avaliar o entendimento e a utilização de aspectos do modelo cinético molecular, explorados nos desafios representacionais anteriores, que utilizaram distintos modos semióticos. Vale ressaltar que os estudantes realizaram outras atividades para elucidar o modelo cinético molecular, as quais não foram abordadas neste texto. A seguir destacamos um trecho do diálogo do Grupo 2 durante a construção da representação dos três estados físicos:

Pedro: *Sólido junto, líquido pouco separado.*

Carolina: *Só as partículas? Para fazer junto, mais ou menos e separado?*

Pedro: *E a gente pode, tipo assim, uma aspa para o sólido, duas para o líquido e três aspás para o gasoso.*

João: *Porque o sólido se movimenta muito pouquinho.*

Carolina: *Não representa o sólido encostado não viu?*

Pedro: *É um pouco separado.*

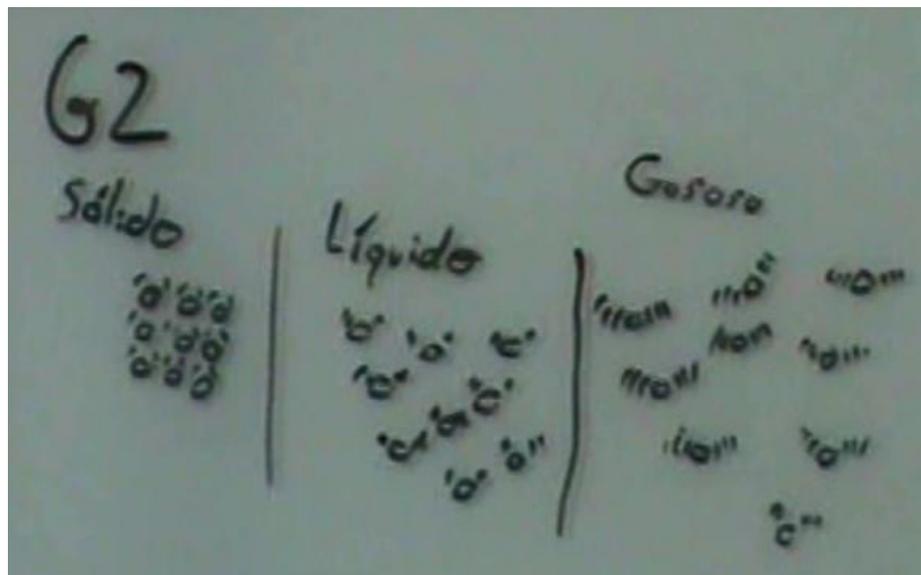
Carolina: *Tem espaço entre as partículas.*

João: *E as partículas do sólido se movimentam bem pouquinho.*

Os estudantes do Grupo 2 listaram e explicaram os aspectos relevantes para serem incorporados à representação dos três estados físicos. Eles explicitaram a existência de espaços vazios entre as partículas e o aumento da distância entre elas quando comparados os estados sólido, líquido e gasoso, nessa ordem. A presença de movimento das partículas foi uma característica explorada pela professora durante as atividades. Esse aspecto do estado sólido foi explorado em uma atividade não contemplada em nossa análise. Os estudantes do Grupo 2 valeram-se de aspás para representar o movimento das partículas e, à medida que o movimento aumentava, propuseram o aumento do número de aspás. Os estudantes não discutiram sobre a quantidade de partículas, mas esse aspecto foi incorporado à representação e os três estados físicos apresentam o mesmo número de partículas. A seguir a representação

construída pelo Grupo 2 (Figura 50) contendo todos os aspectos discutidos por eles no trecho apresentado acima.

Figura 50: Representação do Grupo 2 para os estados físicos sólido, líquido e gasoso



Fonte: Elaborado pela autora.

A professora solicitou que o Grupo 2 socializasse com a turma alguns aspectos da representação construída. A seguir, trecho da transcrição desse momento da aula:

Professora: O Grupo 2 pode explicar para nós a representação que fez aqui? (...) Em relação às características importantes do modelo, o que vocês registraram aí?

Pedro: A forma. Aqui está mais agrupado (aponta para representação do estado sólido), aqui está mais disperso (aponta para a representação do líquido).

Professora: Mas nós estamos fazendo em relação ao movimento cinético molecular. Quais as características do modelo cinético molecular são importantes de serem ressaltadas?

João: Movimento, densidade, espaço vazio.

Pedro: A atração entre as partículas. No estado sólido as partículas se atraem muito, em uma forma mais específica.

Professora: Vocês representaram isso aqui? Vamos ver! Nós estamos retratando três estados físicos. Quais os aspectos importantes de serem destacados?

Pedro: A vibração.

Professora: As partículas. A coisa número um: as partículas. Os materiais são constituídos por partículas e espaço vazio. Ok! O tamanho das partículas está todo mundo registrando como bolinha, poderia optar por pontinho. Mas na verdade isso é algo complexo de você registrar. Vocês estão registrando movimentação, pelo que eu vi em todos. Todo mundo registrou um aumento da movimentação indo do sólido, para o líquido e o gás. Certo? O aumento da

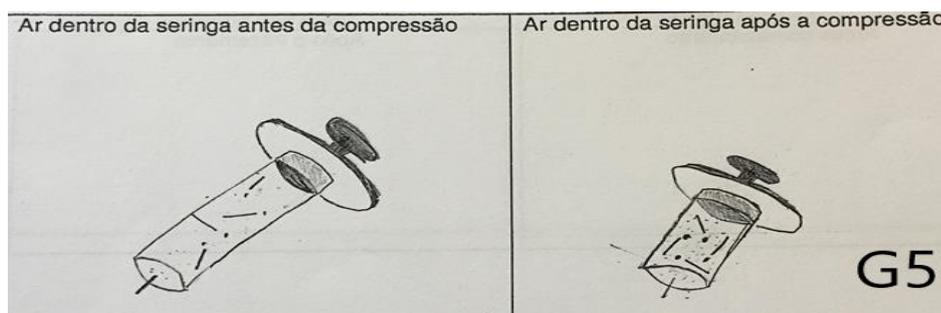
movimentação está sendo representado por esses risquinhos em torno das partículas.

O Grupo 2 elaborou representações que abordavam os três aspectos do sistema de partículas levantados por eles: movimento, espaço vazio e densidade. Como essa era a atividade de fechamento do conteúdo de modelo cinético molecular, a professora fez questionamentos sobre todos os aspectos relevantes do modelo em questão, e os estudantes Pedro e João responderam prontamente aos questionamentos. A professora fez comentários, pela primeira vez, sobre o tamanho das partículas nas representações construídas, mas não explicou aos estudantes o motivo pelo qual a utilização de pontinhos seria mais coerente. Sua fala deixou implícito que a utilização de pontinhos seria mais coerente do que a utilização de esferas, mas ela não problematizou a diferença entre as duas formas de se representar as partículas sob a justificativa de uma suposta complexidade.

A escolha dessa atividade para compor a análise deste texto está relacionada à nossa percepção de que os estudantes estavam representando as partículas de substâncias nos estados físicos líquido e gasoso de modo muito semelhante. A nosso ver essa simetria nas representações poderia estar relacionada ao não entendimento real da diferença entre um líquido e um gás, em termos de partículas. Quando solicitados a representar os três estados físicos, em um mesmo momento, os estudantes inseriram em suas representações, de forma clara, aspectos que indicavam que compreendiam a diferença entre o sistema de partículas líquidas e gasosas. O aumento do espaço vazio entre as partículas e o aumento gradual do movimento foram incorporados à representação do Grupo 2 (Figura 50), assim como nas dos demais grupos. Possivelmente, ao representar a dilatação do gás e, logo a seguir, a dilatação do líquido, os estudantes estabeleceram pouca conexão entre os dois fenômenos em termos de distância entre as partículas. A representação acaba por ser, algumas vezes, apenas mais uma atividade a ser feita e acaba sendo pensada apenas para o fenômeno em questão e não de uma forma mais ampla.

Ao final das atividades envolvendo a construção de representações para elucidar o modelo cinético molecular, a professora solicitou que os estudantes, organizados nos mesmos grupos, reelaborassem as representações das quatro atividades. A seguir algumas das representações reelaboradas.

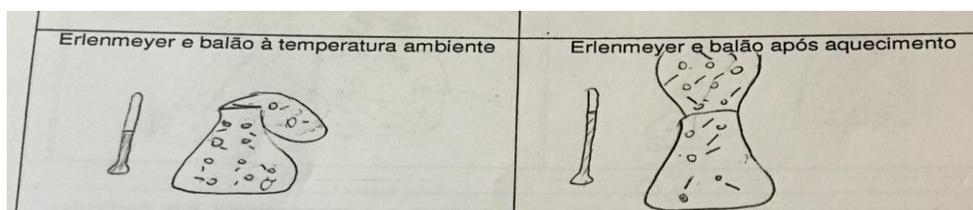
Figura 51: Representação final do Grupo 5 para a compressão da seringa



Fonte: Elaborado pela autora.

A representação final do Grupo 5 (Figura 51) para o sistema de compressão do ar presente no interior de uma seringa está mais próxima daquilo que a professora tinha destacado como importante para o modelo cinético molecular ao longo das aulas. Nessa representação surgiu, pela primeira vez, a utilização de pequenos riscos para representar o movimento das partículas.

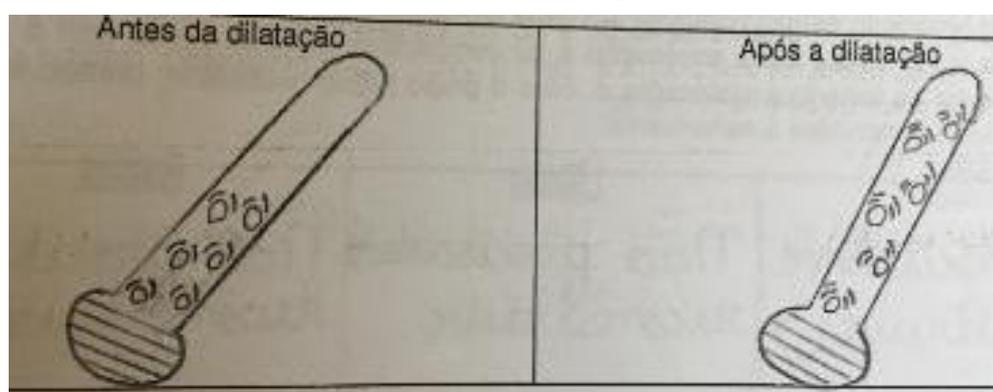
Figura 52: Representação final do Grupo 1 para o aquecimento do erlenmeyer



Fonte: Elaborado pela autora.

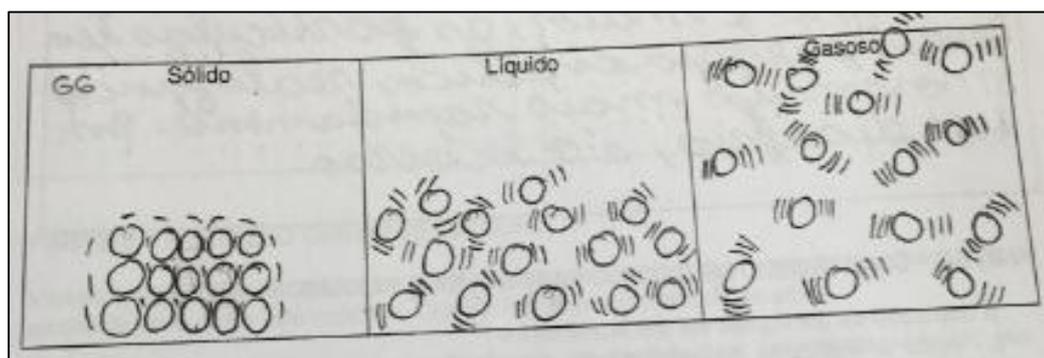
O Grupo 1, de modo semelhante ao Grupo 5, optou pela utilização de pequenos riscos para representar o movimento das partículas (Figura 52). O grupo representou com riscos maiores o aumento da energia cinética do sistema após o aquecimento.

Figura 53: Representação final do Grupo 6 para a dilatação do líquido no bulbo do termômetro



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 54: Representação final do Grupo 6 para os três estados físicos



Fonte: Elaborado pela autora.

Elaboradas pelo Grupo 6, a Figura 53 mostra a dilatação de um líquido e a Figura 54, os três estados físicos da matéria. Nelas estão inseridas as principais características do modelo cinético molecular que foram consideradas nessas aulas.

Portanto, as representações elaboradas pelos estudantes ao término dos desafios representacionais (Figuras 51, 52, 53 e 54) mostraram-se coerentes com os aspectos do modelo cinético molecular abordados pela professora. Os estudantes foram capazes de representar a conservação de partículas nos sistemas, a existência de espaço vazio entre as partículas, a energia cinética correspondente a cada estado físico e o aumento da energia cinética do sistema quando ele é aquecido.

A experimentação de diferentes modos semióticos, durante a proposição das representações, possibilitou aos estudantes compreender aspectos relevantes do modelo cinético molecular e sintetizar esses conceitos e entendimentos em suas representações. Ressaltamos que dois aspectos relevantes do modelo cinético molecular não foram explorados pela professora nesse conjunto de aulas: a representação de partículas como esferas e a representação simultânea de aspectos macroscópicos e submicroscópicos. Desse modo, a construção do entendimento do sistema de partículas no modelo cinético ficou limitada e os estudantes podem ter permanecido com concepções alternativas em relação às partículas, principalmente no que se refere à quantidade, ou seja, à existência de uma quantidade pouco expressiva de partículas em um dado recipiente. Porém, ao que tudo indica, isso tende a ser “corrigido” pela professora no momento em que ela introduzir os estudantes no conteúdo de quantidade de matéria, o que não aconteceu em tempo hábil para que as pesquisadoras pudessem acompanhar.

Tytler e colaboradores (2013b) discorrem sobre o desenvolvimento do raciocínio ao construir, refinar e justificar representações. Ao propor a construção de

representações com base em experimentos realizados, os estudantes exerceram o processo de raciocínio por meio de representações que guiaram a exploração de ideias e a investigação. Dessa forma, as modificações realizadas por eles nas representações e os diferentes modos semióticos utilizados indicam esforços para desenvolver habilidades de raciocínio para o entendimento de fenômenos científicos. A utilização da abordagem baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais possibilitou que conceitos relativos ao modelo cinético molecular tivessem sentido para os estudantes do Ensino Médio. Esses conceitos foram construídos de forma coletiva de maneira a viabilizar o entendimento de uma série de fenômenos. E nesse sentido as representações foram fundamentais para guiar o raciocínio dos estudantes. Argumentamos que esses estudantes desenvolveram habilidades de raciocínio e autonomia, habilidades que fazem parte das diretrizes curriculares da instituição em que este trabalho foi desenvolvido. Nesse sentido, podemos afirmar que o trabalho realizado por meio de representações multimodais está de acordo com os objetivos dessa instituição.

Ao finalizar o estudo do modelo cinético molecular, a professora abordou o conteúdo de modelos para o átomo e a tabela periódica. Dois meses depois ela deu início ao conteúdo de transformações químicas. Os estudantes realizaram uma série de experimentos com evidências de transformações químicas, e em seguida foram convidados a representar as transformações químicas de cada sistema. Uma das atividades realizadas foi a oxidação do magnésio, fenômeno observado com a queima de uma fita de magnésio. Em suas representações o estudante usaram a equação química e o desenho. A seguir, destacamos um trecho da transcrição do momento em que o Grupo 4 socializou a sua representação e, em seguida, a representação construída pelo grupo (Figura 55).

Professora: *O magnésio sólido reagiu com o quê?*

Antônio: *Com o oxigênio.*

Professora: *Oxigênio gasoso. E formou o quê?*

Antônio: *OMg. Óxido de magnésio.*

Professora: *MgO. Óxido de magnésio. Aqui o magnésio tem número de oxidação 2. Aí está balanceado?*

Helena: *Não.*

Professora: *O que falta? Olha o desenho que vocês fizeram!*

Helena: *2 magnésios e 2 magnésios.*

Professora: *Aqui e aqui, né?* (Professora acrescenta os índices estequiométricos na reação escrita no quadro). *Um outro jeito que eu poderia fazer aqui e que também é muito usual, eu posso...*

Helena: *Colocar $\frac{1}{2}$ de O_2 .*

(Professora modifica os índices estequiométricos no quadro)

Professora: *Dá na mesma?*

Antônio: *Sim. Mas não tem como você reagir meio O_2 .*

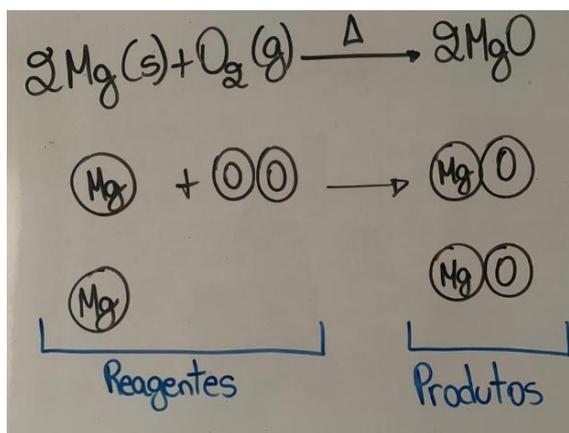
Professora: *Sim. Se a gente pensar em uma unidade de oxigênio não tem jeito. Mas, mais para frente, a gente vai ver que não é uma unidade. Então pode ser $\frac{1}{2}$ de O_2 mesmo. Mas vamos voltar, porque ainda estamos na unidade. (Professora retorna com os índices estequiométricos 2)*

(...)

Antônio: *Se eu pesar um pote de vidro com oxigênio dentro. Imagina que eu enchi de oxigênio. Pesei. E depois fiz vácuo. Se eu pesar de novo, vai ter mudado a massa?*

Professora: *Teoricamente sim. Se você tiver o mesmo sistema e fizer vácuo, sim. Porque você retirou o oxigênio do sistema. Resta saber se o seu sistema é sensível o suficiente para capturar a variação de massa. Vai precisar de uma balança bem precisa, com muitas casas decimais. Ficou tranquilo até aqui gente?*

Figura 55: Representação do Grupo 4 para a reação química de oxidação do magnésio



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise da transcrição do trecho anterior da aula e da representação construída nos permite afirmar que os estudantes utilizaram o desenho de partículas para auxiliar a construção da representação da transformação química na forma de uma equação química. O desenho das partículas, dos elementos que compõem esse sistema, foi utilizado como base e substituído pelos índices estequiométricos, após a intervenção da professora. O questionamento feito por Antônio (Grupo 4) sobre a

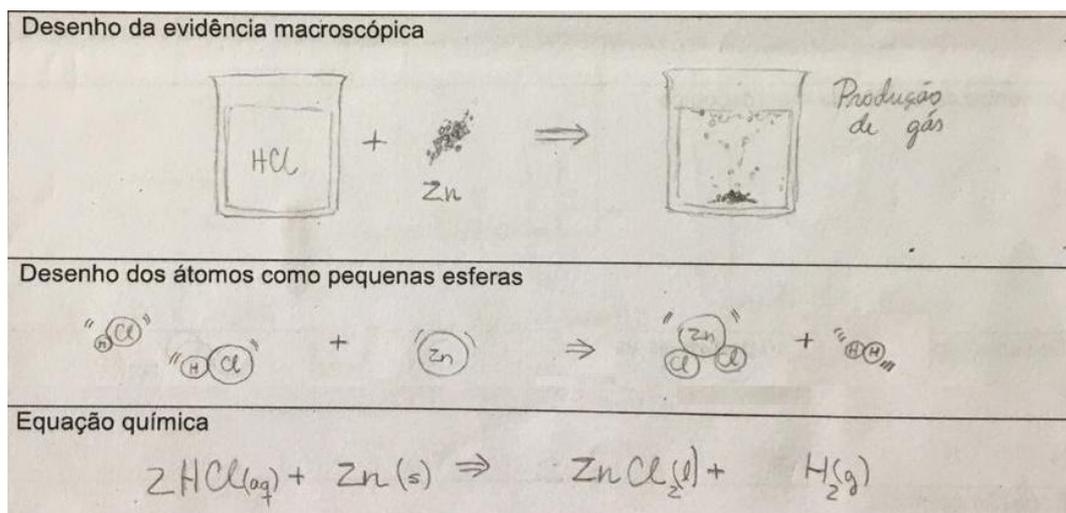
possível redução de massa de um sistema caso haja retirada de gás oxigênio pode ser uma forma de confirmação do seu entendimento sobre o fenômeno de oxidação do magnésio, em um sistema aberto, e em relação ao fato da massa do sólido ter aumentado após a reação química.

Observamos que, ao afirmar que é impossível reagir $\frac{1}{2}$ O₂, Antônio estaria pensando nas partículas como unidades. A professora esclareceu, então, que o raciocínio não era esse, deixando, contudo, a explicação para o momento em que esse assunto seria foco de ensino. Esse é um indício de que a professora, ao optar por não utilizar o *zoom* nas representações anteriores, já tinha em mente o momento em que essa propriedade do modelo cinético molecular seria trabalhada. Ela justificou isso durante a entrevista, afirmando que os estudantes não têm uma ideia formada de quantidade de matéria. Embora concordemos com o fato de que a ideia adequada de quantidade de matéria ainda não tinha sido construída, acreditamos que reduzir o número de partículas ao que pode ser representado dentro de um material macroscópico pode induzir à formação de concepções alternativas.

Observamos que a proposição de representações e suas reelaborações amparadas em discussões referentes aos aspectos do modelo cinético molecular foram capazes de auxiliar os estudantes na compreensão de outros conceitos. No caso exemplificado por nós a conservação de massa em uma reação química e a representação e balanceamento da reação apareceram espontaneamente quando os estudantes construíram a equação química. Ao que tudo indica a utilização de diferentes modos semióticos auxiliou esse grupo de estudantes na compreensão dos conceitos científicos relacionados ao conteúdo do modelo cinético molecular.

Após a realização dos experimentos com evidências de transformações químicas e a socialização das representações construídas pelos estudantes, a professora solicitou a elaboração da representação das transformações químicas em diferentes aspectos: desenho da evidência macroscópica, desenho dos átomos como pequenas esferas e a equação química correspondente ao sistema em questão. Destacamos as representações da transformação química ocorrida entre o ácido clorídrico e o zinco metálico, elaboradas pelo Grupo 4, na Figura 56, a seguir.

Figura 56: Representação do Grupo 4 para a reação química entre o ácido clorídrico e o zinco



Fonte: Elaborado pela autora.

Os estudantes do Grupo 4 representaram a transformação química em termos macroscópicos, evidenciando a produção de gás na reação em questão. Ao partir para o sistema submicroscópico, o Grupo 4 representou os átomos como pequenas esferas e utilizou aspas para indicar o movimento das partículas, de acordo com o estado físico de cada componente do sistema. O zinco (Zn), que se encontra no estado sólido, foi representado com uma aspa, e o ácido clorídrico (HCl), que se encontra em meio aquoso, foi representado com duas aspas, assim como o cloreto de zinco (ZnCl₂). O gás hidrogênio (H₂), por sua vez, foi representado com três aspas. Os estudantes associaram a quantidade de aspas ao movimento das partículas, indicando que o estado sólido é o estado de menor movimento, seguido do líquido e do estado gasoso, que é o de maior movimento. Embora tenhamos consciência que a comparação de energia entre diferentes moléculas não pode ser relacionada apenas ao estado físico, a identificação da gradação de energia partindo do estado físico sólido, líquido e, posteriormente gasoso, evidencia que os estudantes compreendem que, de um modo geral, o estado sólido tem menor energia e o estado gasoso é o mais energético.

Os estudantes desenharam quantidades proporcionais de átomos e representaram a reação química balanceada. É possível que o desenho dos átomos como esferas tenha auxiliado os estudantes a problematizar a conservação de massa do sistema e a calcular a quantidade de cada componente para que a reação química ocorresse. Acreditamos que o desenho dos átomos pode ter contribuído para a construção da reação química em questão, assim como a observação macroscópica do sistema e sua representação podem ter auxiliado os estudantes na identificação de um gás como um dos produtos da reação, já que houve formação de bolhas.

Notamos nos dois exemplos de representações de transformações químicas mencionados que os estudantes lançaram mão de aspectos do modelo cinético molecular abordados nos desafios representacionais para representar as transformações químicas dos sistemas investigados. As características dos estados físicos, em termos de quantidade de energia, e a conservação de massa de um sistema foram conceitos resgatados pelos estudantes para a construção de novos entendimentos. Reafirmamos que a proposição de representações e suas reelaborações amparadas em discussões referentes aos aspectos do modelo cinético molecular foram capazes de auxiliar os estudantes na compreensão de outros conceitos.

CAPÍTULO 06: QUAL O PAPEL DAS REPRESENTAÇÕES INFORMAIS NOS DESAFIOS REPRESENTACIONAIS?

Ao longo dos capítulos 04 e 05 compartilhamos a análise de sequências didáticas nas quais havia desafios representacionais. Essas sequências abordaram os conteúdos de Geometria e Polaridade das Moléculas e de Modelo Cinético e Molecular, respectivamente. Nos conjuntos de aulas analisadas o processo de proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações centrado nos estudantes auxiliou no entendimento dos modelos usados pela Ciência e, portanto, na apropriação do conhecimento científico. Para que as atividades representacionais culminassem em uma representação próxima da canônica, muitas representações informais foram usadas. Neste capítulo faremos uma análise mais detalhada da função das representações informais durante os desafios representacionais. Iniciamos essa discussão analisando os dados produzidos com a turma de nono ano, durante o estudo do conteúdo de Geometria Molecular.

O contexto de estudo da Geometria e Polaridade das Moléculas

Durante os desafios representacionais analisados foram utilizadas tanto as representações do tipo formal quanto as do tipo informal. Denominamos representações formais aquelas comumente utilizadas em aulas de Ciências e de Química, que estão presentes em materiais didáticos e, portanto, que se aproximam e/ou são semelhantes às representações canônicas. No conjunto de aulas sobre o conteúdo de Geometria Molecular analisado, podemos citar como exemplo de representações formais as estruturas de Lewis, as representações com traços e as representações da geometria molecular em três dimensões, feitas pelos estudantes, e também aquelas fornecidas pela plataforma PhET *Interactive Simulations*. Denominamos representações informais as representações não comumente utilizadas em aulas de Ciências e Química da Educação Básica e que dificilmente estarão nos materiais didáticos. No conjunto de aulas analisado podemos citar como exemplo de representações informais as representações construídas com balões de festa e as teatralizações, representações que utilizam o próprio corpo.

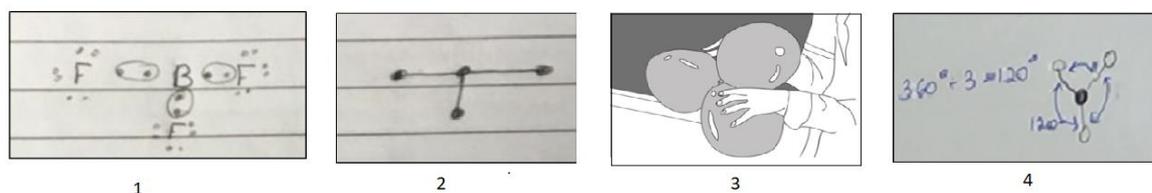
Notamos que o uso de representações informais, além de apoiar o processo de entendimento do conceito de geometria molecular, auxiliou no entendimento das

representações formais. Voltamos o nosso olhar para alguns momentos em que as representações informais foram utilizadas nas aulas de nono ano, já descritas e analisadas no Capítulo 04.

O primeiro desafio representacional proposto para a turma foi a representação da geometria molecular para o cloreto de berílio (BeCl_2). Como se tratava de uma geometria linear, exemplo mais simples de ser analisado, todos os grupos representaram corretamente a geometria da molécula em questão, tendo como base apenas a estrutura de Lewis.

Aumentando o grau de complexidade, foi solicitado que os estudantes propusessem a geometria molecular do trifluoreto de boro (BF_3). Ao analisar a estrutura de Lewis e propor a primeira representação para a estrutura de traços, os estudantes do Grupo 1, que foram chamados para compartilhar com a turma a representação feita, não foram capazes de utilizar os conceitos envolvidos na teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência e construíram uma estrutura que não era condizente com a real geometria da molécula. O Grupo 1 estipulou a maior distância angular em linha reta para duas das ligações entre os átomos de boro e flúor, formando um ângulo de 180° entre os pares de elétrons compartilhados. A outra ligação entre boro e flúor foi colocada em um espaço intermediário, formando um ângulo de 90° . Para construir uma ideia mais clara dessa geometria foram usados balões de festa, uma representação que consideramos informal. Ao visualizar a organização dos balões no espaço, representativos do arranjo dos átomos na molécula em questão, os estudantes foram capazes de propor uma estrutura coerente com a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência e com a geometria da molécula de trifluoreto de boro. Na sequência de imagens apresentada na Figura 57 conseguimos acompanhar o percurso traçado pelos estudantes, sob mediação da professora, para construção de uma representação condizente com a real geometria da molécula.

Figura 57: O processo de construção de representações para a geometria da molécula BF_3



Fonte: Elaborado pela autora.

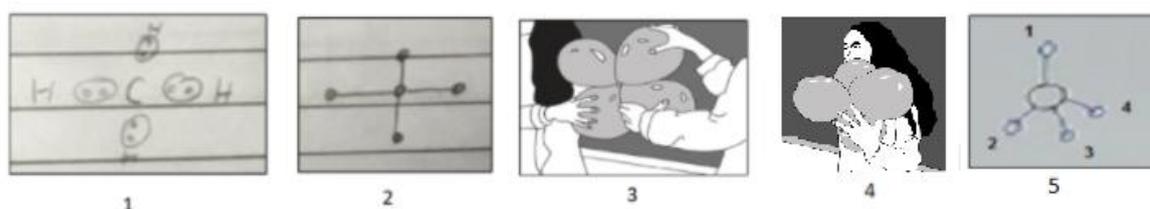
O uso de representações informais, nesse caso os balões de festa (Figura 57 – 3), possibilitou que os estudantes, utilizando objetos concretos, explorassem a organização espacial dos átomos da molécula em questão. O engajamento dos estudantes e os diálogos estabelecidos ao longo da discussão da representação utilizando balões evidenciaram que essa intervenção foi fundante para que os estudantes fossem capazes de transpor para o concreto a teoria que embasa a organização das moléculas no espaço e de propor uma estrutura semelhante à canônica. Os conceitos envolvidos na teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência possuem um elevado grau de abstração, e o uso de uma representação informal, que permitiu a eles perceberem a tendência de organização dos átomos na molécula, aliado à mediação da professora, foi determinante para que os estudantes construíssem com autonomia e coerência uma representação para a geometria da molécula.

A Figura 57 evidencia as quatro etapas centrais desse processo: na etapa 1 temos um esboço da estrutura da molécula em questão, sem uma preocupação com a real geometria; na etapa 2, a primeira versão da representação da geometria da molécula feita sem uma relação com a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência; na etapa 3, a representação com balões que, de acordo com a nossa análise, possibilitou a compreensão da organização espacial dos átomos da molécula e a discussão sobre o ângulo formado devido à repulsão entre as nuvens eletrônicas dos átomos constituintes da molécula em questão. Na etapa 4 ocorreu a proposição de uma representação para a geometria da molécula em questão condizente com a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência. Com isso, argumentamos que essa representação informal propiciou que os estudantes construíssem a geometria angular da molécula BF_3 .

O desafio representacional envolvendo a construção da representação da geometria da molécula de metano (CH_4) teve início com a proposição da representação de Lewis para essa molécula. De modo semelhante ao desafio representacional descrito anteriormente, a representação de Lewis tem o propósito de identificar os átomos que compõem a molécula em questão. Entretanto, a estrutura de Lewis compreende uma série de abstrações envolvendo conceitos, o que torna esse conteúdo complexo para estudantes do nono ano do Ensino Fundamental. Com base na representação de traços, construída posteriormente à de Lewis, há evidências de que o uso da representação de Lewis não cumpriu seu propósito de auxiliar na

construção de uma nova representação que abrangesse a de traços. Possivelmente a representação de Lewis construída pelos estudantes não auxiliou no processo de construção de significados (PRAIN; WALDRIP, 2006), pois não permitiu o entendimento da organização espacial dos átomos dessa molécula. Isso levou os estudantes a proporem uma representação com traços incoerente com a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência. Quando os estudantes construíram a representação com balões eles tentaram forjar o processo para que essa representação se adequasse à proposta anterior. Com a mediação da professora, os estudantes perceberam que haviam manipulado os balões para que a posição se adequasse à representação de traços, em vez de utilizar os balões para compreenderem a organização dos átomos da molécula de metano no espaço. Após a mediação, com base na organização espacial dos átomos representada no momento pelos balões, os estudantes construíram uma representação condizente com a real geometria da molécula de metano. A Figura 58, a seguir, retrata as cinco etapas centrais envolvidas na construção da representação da geometria da molécula em questão.

Figura 58: O processo de construção de representações para a geometria da molécula CH_4



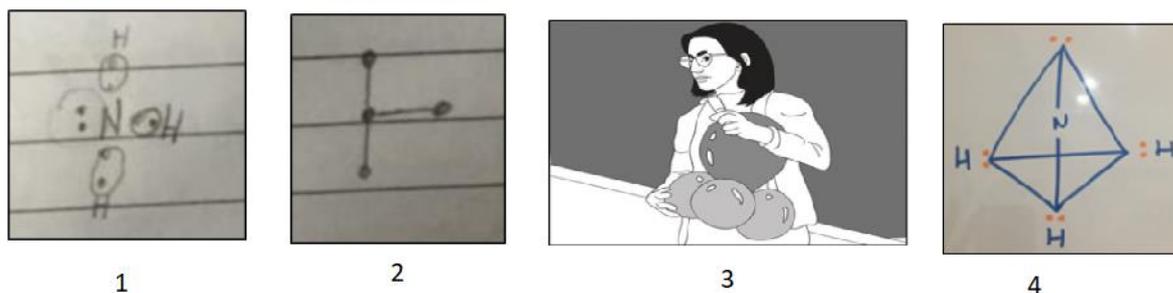
Fonte: Elaborado pela autora.

Na representação de traços (Figura 58 – 2) construída pelos estudantes do Grupo 1 para a geometria da molécula de metano (CH_4), os quatro pares de elétrons compartilhados entre os átomos de carbono e hidrogênio estavam separados por uma angulação de 90° e organizados no plano. Podemos perceber claramente na representação do metano (CH_4) que, apesar de estarem tratando de geometria da molécula, os estudantes fizeram um desenho bidimensional, o que não nos forneceu qualquer ideia de entendimento tridimensional, necessário no caso dessa geometria molecular. Dois estudantes do Grupo 1, para representar a molécula do metano, organizaram os balões no espaço de forma semelhante à organização dos átomos no desenho da representação de traços. Em um primeiro momento, os estudantes utilizaram a representação com balões para repetir a estrutura que já haviam

construído (Figura 58 – 3). Quando questionados pela professora sobre a “manipulação” forçada dos balões, os estudantes permitiram que esses se organizassem por si (Figura 58 – 4) e construíram, com base no que visualizaram, uma representação para a geometria da molécula em questão (Figura 58 – 5). Mais uma vez, uma representação que consideramos informal, nesse caso com o uso de balões, foi essencial para que os estudantes percebessem a organização espacial dos átomos na molécula.

Analisando o desafio representacional envolvendo a construção da molécula de amônia (NH_3), observamos que os estudantes do Grupo 4 elaboraram a representação para a geometria da molécula de amônia (NH_3) de forma similar à representação da geometria da molécula de metano (CH_4), evidenciando que não haviam distinguido os pares de elétrons ligantes dos pares de elétrons que não participavam de uma ligação covalente. De modo semelhante ao ocorrido durante a socialização da geometria da molécula de metano (CH_4), o Grupo 2 – ao apresentar a representação da molécula NH_3 – moldou os balões para que os quatro pares de elétrons ficassem no mesmo plano, distanciados por uma angulação de 90° . A estudante Júlia, baseada nas discussões anteriores, indicou que a forma como o grupo tinha organizado os balões não estava correta, e a professora interveio e solicitou que os estudantes permitissem que os balões se reorganizassem de forma livre, sem intervenções. Após essa exploração da representação com os balões, os estudantes foram capazes de elaborar uma representação coerente com a organização espacial da molécula de amônia e, com base nessa representação informal, construíram uma representação de traços para a molécula em questão coerente com a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência. O Grupo foi além e identificou o sólido geométrico por trás da organização espacial dos átomos na molécula. As imagens presentes na Figura 59 indicam os momentos centrais dessa intervenção.

Figura 59: O processo de construção de representações para a geometria da molécula NH_3



Fonte: Elaborado pela autora.

Nas três situações descritas, o uso de representações não comumente utilizadas em aulas de Ciências e de Química auxiliou os estudantes na compreensão da organização espacial dos átomos em diferentes moléculas. Possivelmente a experiência com outro modo semiótico, capaz de elucidar aspectos distintos do conceito, oportunizou a negociação de significados e um entendimento da organização espacial das nuvens eletrônicas das moléculas analisadas, auxiliando os estudantes na proposição da geometria das moléculas em questão.

Segundo Prain e Waldrip (2006), a criação e a manipulação de diferentes formas representacionais, ancoradas em diferentes modos semióticos, sustentam a aprendizagem por três motivos, comentados a seguir:

i) é conveniente para complementar ou reforçar, por confirmação, conhecimentos de tópicos e conteúdos aprendidos anteriormente. A representação utilizando balões de festa complementou aspectos do conceito de geometria molecular que as representações de Lewis e de traços não foram capazes de elucidar;

ii) propicia, por restrição, o refinamento de uma interpretação ao limitar o foco do aprendiz a conceitos fundamentais. O foco da representação informal que utilizou balões de festa foi potencializar o olhar para uma estrutura em três dimensões; e

iii) capacita o estudante a identificar um conceito ou uma abstração por meio de representações que considerem diferentes modos semióticos. A experiência com diferentes modos semióticos e a manipulação de representações formais e informais permitiram o entendimento do conceito de geometria molecular e a construção de estruturas coerentes com a teoria de repulsão dos pares de elétrons da camada de valência. Ao final do processo,

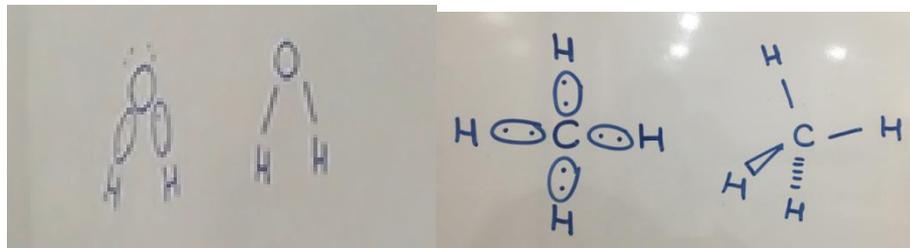
os estudantes foram capazes de propor estruturas de traços que consideravam a geometria canônica das moléculas analisadas.

Após a realização dos desafios representacionais para construção de significados do conceito de geometria molecular, a professora explorou o conceito de polaridade das moléculas e a distinção entre a polaridade de duas moléculas distintas: água (H_2O) e metano (CH_4). Nesse caso a representação informal escolhida pela professora foi a teatralização.

Essa atividade foi iniciada explorando representações formais trabalhadas anteriormente (representações de Lewis e de traços) para subsidiar a retomada do conceito de polaridade de ligações e das formas de representar esse conceito. Em um segundo momento as representações informais ganharam espaço e foram utilizadas para auxiliar no entendimento das representações formais e na construção do conceito de polaridade da molécula. Passamos agora a detalhar o uso das representações informais no contexto do trabalho com o conteúdo de polaridade das moléculas.

A professora retomou o conceito de polaridade das ligações, já trabalhado com os estudantes durante o estudo de ligação covalente, e a representação da polaridade das ligações. Ela pediu a eles que construíssem a representação de Lewis e a de traço para as moléculas de água (H_2O) e de metano (CH_4), levando em conta a geometria molecular. O Grupo 3 compartilhou com a turma as representações construídas (Figura 60), desenhando-as na lousa.

Figura 60: Representações de Lewis e de traço para as moléculas de água e metano



Fonte: Elaborado pela autora.

Utilizando a linguagem como meio mediacional, a professora fez questionamentos com o intuito de levantar hipóteses sobre os aspectos que definem a polaridade de uma molécula e de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o conceito. Waldrip, Prain e Carolan (2010) afirmam que a maneira como o professor orienta os desafios representacionais é fator determinante para que essa estratégia seja bem-sucedida. Por se tratar de um momento de levantamento

dos conhecimentos prévios dos estudantes, a professora não fez um fechamento da discussão e propôs a realização de um experimento para continuar o diálogo sobre o tema com a turma. O experimento consistiu em aproximar uma régua atritada de um feixe de água fluindo de uma seringa, o que foi repetido, em seguida, utilizando óleo mineral. Uma vez que esses estudantes, por estarem cursando o nono ano do Ensino Fundamental, ainda não tinham estudado os compostos orgânicos a professora esclareceu que a estrutura molecular do óleo se assemelhava à estrutura do metano, em termos de polaridade da molécula.

Ao aproximar uma régua atritada de um feixe de água que fluía de uma seringa sem o êmbolo os estudantes observaram que o feixe de água foi atraído pela régua atritada e sua linha de queda se deslocou em direção à régua. Quando aproximaram a régua atritada de um feixe de óleo, os estudantes observaram que o óleo praticamente não foi atraído pela régua. Após a observação dos dois fenômenos, a professora solicitou que os estudantes construíssem explicações, tendo como base a polaridade das ligações e a polaridade das moléculas.

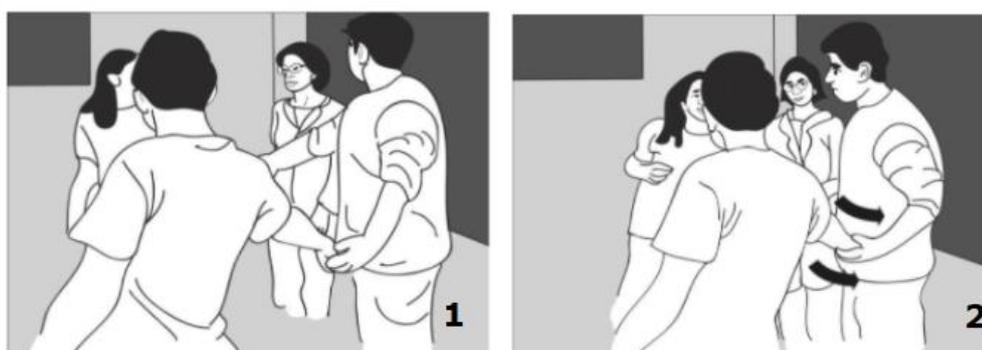
Baseados apenas nessas representações formais (representações de Lewis, representações de traço e a realização de um experimento), os estudantes não conseguiram elaborar uma explicação coerente para o experimento realizado. Júlia se mostrou interessada na possível explicação, ao afirmar, inicialmente, que tinha uma teoria, mas não foi capaz de desenvolvê-la, limitando-se a mencionar o fato de que a água conduz a corrente elétrica. Depois, ela retomou a fala afirmando ter buscado dados na apostila que trazia o conteúdo trabalhado na disciplina. Ela adiantou para a turma que a molécula de água é polar e a molécula de metano é apolar, mas não soube justificar essa diferença, observado que nas duas moléculas as ligações são polares. A ideia compartilhada por Júlia é um bom exemplo para demonstrar que, quando os estudantes são apresentados aos modelos canônicos, sem uma preocupação em compreender como a Ciência elaborou aquela representação, eles podem estar apenas repetindo conceitos e/ou explicações que não têm sentido para eles. A estudante classificou as moléculas em polares e apolares, mas não foi capaz de utilizar essa informação para explicar o fenômeno observado, assim como não foi capaz de entender o porquê de essas moléculas serem polares ou apolares.

Para possibilitar uma melhor compreensão do experimento realizado, a professora solicitou, então, que os estudantes participassem de outra atividade, que chamamos de representação incorporada ou teatralização. Lim (2020) afirma que o

uso do corpo durante o processo de ensino e aprendizagem está relacionado ao entendimento da comunicação multimodal. O autor utiliza o termo ensino incorporado para abordar os gestos e movimentos corporais que um professor utiliza para se comunicar com os estudantes no processo de ensino e aprendizagem. Optamos por utilizar o termo representação incorporada ou teatralização, por abordar a utilização do corpo como ferramenta para representar um conceito/fenômeno dentro do processo dos desafios representacionais, de forma um pouco mais ampla do que foi descrito por Lim (2020).

A teatralização foi utilizada pelos estudantes da turma de nono ano para identificar a polaridade da molécula de água. Os estudantes, sob mediação da professora, organizaram-se de forma autônoma para representar os átomos de oxigênio e hidrogênio envolvidos na estrutura da molécula. Eles se organizaram no espaço de forma coerente com a geometria da molécula de água e estabeleceram um diálogo entre os movimentos que seriam necessários para representar a força de atração que o átomo de oxigênio exerce sobre as nuvens eletrônicas dos átomos de hidrogênio. O envolvimento e o engajamento dos estudantes com a proposta foram evidenciados pela comunicação assertiva e afetuosa que estabeleceram, entre si e com o conteúdo, e por demonstrarem que estavam se divertindo ao longo do processo. A Figura 61 mostra dois momentos ao longo da teatralização: o primeiro mostra os estudantes já posicionados, considerando a geometria da molécula de água, e o segundo evidencia o movimento que os estudantes realizaram para representar a força de atração entre o átomo de oxigênio e as nuvens eletrônicas dos átomos de hidrogênio.

Figura 61: Teatralização utilizada para representação da polaridade da molécula de água.

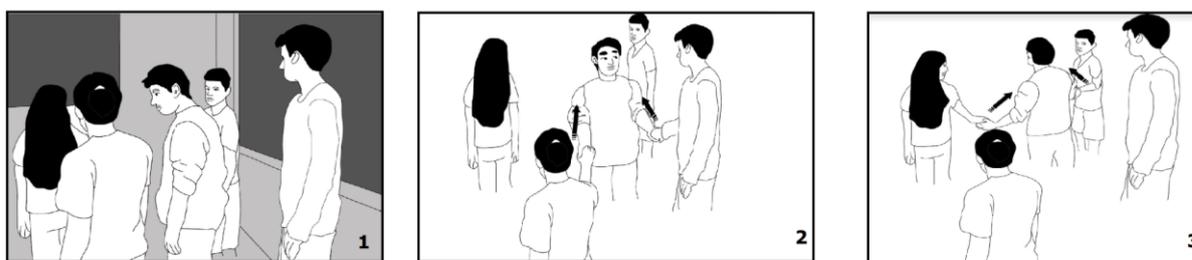


Fonte: Elaborado pela autora.

Após explorarem a teatralização da representação da polaridade da molécula de água (H_2O), os estudantes foram desafiados a executar a teatralização da

polaridade da molécula de metano (CH_4). Essa representação incorporada é mais complexa levando em conta que a molécula em questão apresenta geometria tetraédrica, cuja representação envolve cinco pessoas (uma representando o átomo de carbono e as quatro outras representando as nuvens eletrônicas dos átomos de hidrogênios integrantes da molécula). Os estudantes organizaram-se no espaço, inicialmente de forma autônoma, e ao serem questionados quanto à equivalência da organização espacial que construíram e à geometria da molécula em questão, Paulo auxiliou os colegas a mudarem de lugar para que uma nova organização espacial estivesse mais coerente à geometria da molécula de metano. Antônio, estudante que representava o átomo de carbono, realizou o movimento de atração dos colegas. A professora tranquilizou os estudantes dizendo que seria necessária uma adaptação para que eles pudessem teatralizar a força de atração que o átomo de carbono exerce sobre as nuvens eletrônicas dos átomos de hidrogênio, e sugeriu que Antônio realizasse a atração decompondo as forças. A mediação da professora foi fundamental para que os estudantes fossem capazes de realizar a decomposição das forças e analisassem o valor da resultante de cada decomposição. A Figura 62 mostra três momentos ao longo da teatralização: o primeiro mostra os estudantes já posicionados, considerando a geometria da molécula; o segundo evidencia o movimento que os estudantes realizaram para representar a força de atração entre o átomo de carbono e as nuvens eletrônicas dos átomos de hidrogênio que estavam no plano; e o terceiro indica o movimento que os estudantes realizaram para representar a força de atração entre o átomo de carbono e as nuvens eletrônicas dos átomos de hidrogênio que estavam fora do plano.

Figura 62: Teatralização utilizada para representação da polaridade da molécula de metano.



Fonte: Elaborado pela autora.

A representação incorporada, ou teatralização conforme nomeamos, auxiliou os estudantes do nono ano do Ensino Fundamental a terem uma ideia inicial dos conceitos de forças e de vetores, que foram usados para investigar a polaridade das

moléculas de água (H_2O) e metano (CH_4) e para elucidar a diferença entre a polaridade de uma ligação e a polaridade de uma molécula e, com isso, tentar compreender o fenômeno observado no experimento da régua atritada se aproximando dos feixes de água e de óleo. No caso da teatralização para representação da polaridade da molécula CH_4 há uma limitação na representação informal, dada a impossibilidade de se ocupar tanto o espaço superior quanto o inferior. Entretanto, os estudantes demonstraram autonomia para propor uma adaptação a essa representação e também compreensão do sistema de decomposição de forças e análise da resultante.

Ao definir a polaridade de uma molécula por meio da resultante de forças, a professora tratou de um conceito complexo, mas que pareceu ter sentido para os estudantes. Júlia relacionou a fala da professora sobre resultante de forças com o experimento realizado anteriormente. Um outro estudante, José, tomou o turno de voz de forma autônoma e construiu a explicação para o fenômeno observado no experimento, com base nas representações formais e informais analisadas, como já descrito no Capítulo 04, páginas 95-107.

As representações a que chamamos de formais, comumente utilizadas em aulas de Ciências e de Química e que se aproximam das representações canônicas, carregam uma grande bagagem conceitual e, conseqüentemente, uma maior abstração. Baseadas na análise dos dados, argumentamos que o uso de representações informais subsidia a compreensão das representações formais e a compreensão do conceito ou fenômenos investigados, uma vez que insere outras *affordances* da representação e facilita a identificação de abstrações não percebidas pelos estudantes nas representações formais. Desse modo, além de apresentar outros modos semióticos capazes de auxiliar o processo de compreensão do conceito ou fenômeno, as representações informais auxiliam a identificar aspectos das representações formais e, conseqüentemente, fortalecem o processo de construção de significado de um conceito ou fenômeno.

O contexto de estudo do Modelo Cinético Molecular

Passamos agora para uma análise mais detalhada do uso das representações informais durante os desafios representacionais, no conjunto de aulas analisadas da

turma de primeiro ano do Ensino Médio, no qual foi abordado o conteúdo de Modelo Cinético Molecular. Ao longo dos desafios representacionais utilizados para explorar o conteúdo em questão, a professora lançou mão de representações formais (experimentos e desenhos na lousa) e representações informais (teatralizações) para auxiliar os estudantes no entendimento do Modelo Cinético Molecular. Representações formais e informais foram intercaladas no decorrer da intervenção, seguindo a lógica de proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações.

Para a compreensão do Modelo Cinético Molecular, os fenômenos a seguir foram investigados e discutidos: a compressão do ar contido em uma seringa, o aquecimento de um erlenmeyer com um balão acoplado, a dilatação de um líquido no capilar de um termômetro e a difusão de um gás. Ao longo dos desafios representacionais identificamos o papel fundamental das representações informais na construção do entendimento dos fenômenos investigados. Durante as investigações desses fenômenos a teatralização foi utilizada para consolidar o entendimento dos estudantes sobre cada fenômeno e para ampliar o olhar sobre aspectos do Modelo Cinético Molecular que não foram contemplados nas representações utilizadas anteriormente. Selecionamos três momentos em que as representações informais foram utilizadas para analisarmos tanto o grau de envolvimento e autonomia dos estudantes na proposição das representações quanto a coerência das representações com o Modelo Cinético Molecular.

A primeira atividade proposta pela professora para elucidar os aspectos do Modelo Cinético Molecular envolveu um experimento de compressão do ar contido dentro de uma seringa. Após terem realizado o experimento os estudantes foram convidados a propor uma representação, usando desenhos, para explicar o fenômeno em questão. Organizados em grupos, eles propuseram suas representações e compartilharam com a turma. Os estudantes levaram em conta a diminuição do espaço vazio entre as partículas após a compressão do ar contido em uma seringa, porém não indicaram o movimento dessas partículas e não representaram a mesma quantidade de partículas antes e após a compressão.

Durante a socialização da representação com a turma, a professora questionou o fato de os estudantes não terem considerado a conservação de massa do sistema, e o diálogo que foi estabelecido entre a professora e os estudantes deu indícios de que eles tinham consciência da conservação de massa do sistema, embora não

tenham contemplado esse aspecto nas representações. Isso evidencia que havia limitações entre o que os estudantes sabiam e a forma como representavam. Apenas com a intervenção da professora em relação a esse item, a quantidade foi repensada, o que pode ter auxiliado esses estudantes a aumentarem a consciência em torno da representação.

Embora o movimento das partículas não tenha sido explorado pelos estudantes, ele não foi retomado pela professora nesse momento. Na etapa seguinte do desafio representacional, a educadora solicitou que os estudantes realizassem uma teatralização para representar o fenômeno em questão. Os estudantes delimitaram um espaço para representar o espaço interno da seringa, sinalizaram de forma verbal a compreensão do ar presente no interior da seringa e aproximaram-se mais uns dos outros para representar essa compressão. O movimento das partículas também não foi contemplado na teatralização e a professora interveio na atuação dos estudantes elaborando questionamentos para auxiliá-los na reelaboração da representação. A seguir, apresentamos um trecho da transcrição desse momento da aula.

Professora: *Pessoal, o que vocês acharam da representação que eles criaram?*

O que faltou aí? Molécula de um gás não agita não?

Estudantes participantes da teatralização iniciaram um movimento de vai e vem com o corpo.

Professora: *As partículas ficam assim no mesmo lugar?*

Carlos: *Tem que ficar correndo!*

Professora: *Que tipo de movimento uma molécula faz? Só vibração?*

Maria, participante da teatralização, faz o movimento de rotação.

Marcelo: *Translação.*

Professora: *Translação, rotação e vibração. As partículas fazem isso: vibram, giram em torno do próprio eixo e transladam. E tem uma outra coisa. Apesar de comprimido, ainda é um gás. Então em termos de aglomeração das partículas, a representação de vocês satisfaz?*

Os estudantes reformulam a teatralização após a mediação da professora. Distanciam-se uns dos outros e realizam os três movimentos. Com a indicação da compressão, os estudantes aproximam-se um pouco. A professora adverte.

Professora: *Comprimiu, mas continua gás, não pode aproximar muito não.*

Os estudantes aumentam a distância entre os participantes da teatralização

O uso da teatralização permitiu que os estudantes explorassem os movimentos das partículas envolvidas no fenômeno de compressão do ar presente no interior de uma seringa. Os movimentos de vibração, rotação e translação, que não haviam sido

mencionados nas representações estáticas (desenho da lousa) foram explorados e testados com o corpo conforme a professora elaborava questionamentos para mediar o processo de reformulação da representação. A Figura 63 ilustra as reformulações que foram realizadas ao longo do processo. Na Figura 63-1 os estudantes não consideraram os movimentos das partículas, na Figura 63-2 os estudantes acrescentaram o movimento de vibração das partículas, e na Figura 63-3 os estudantes exploraram os movimentos de rotação, vibração e translação.

Figura 63: Teatralização do fenômeno de compressão do ar contido em uma seringa



Fonte: Elaborado pela autora.

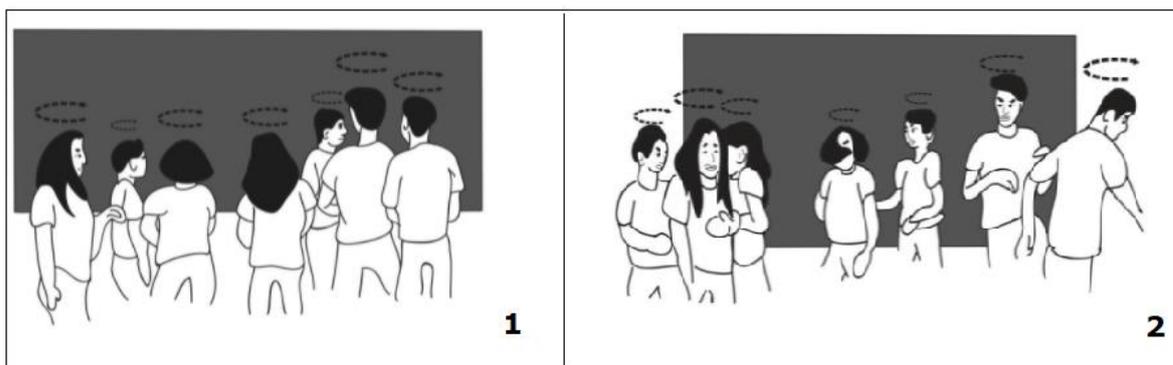
O uso da linguagem como meio mediacional e os questionamentos da professora foram essenciais para que os estudantes lançassem o olhar para o movimento das partículas e incluíssem esse aspecto na representação construída. Esse foi o primeiro momento em que o movimento das partículas surgiu no campo da discussão da turma, evidenciando como o uso de diferentes modos semióticos apoia o processo de construção do conhecimento, ao passo que evidencia aspectos do fenômeno que não haviam sido considerados em função das limitações das representações estáticas, como o desenho na lousa (PRAIN; WALDRIP, 2006). A representação informal possibilitou elucidar aspectos do Modelo Cinético Molecular que não haviam sido explorados nas representações anteriores, auxiliando os estudantes a compreender de forma mais abrangente o fenômeno analisado.

Em seguida, os estudantes realizaram o experimento de aquecimento de um erlenmeyer no qual um balão tinha sido acoplado. De modo semelhante à investigação do primeiro fenômeno, a professora solicitou que os estudantes elaborassem desenhos na lousa para explicar esse fenômeno. As representações de todos os grupos contemplaram a expansão do gás presente inicialmente no erlenmeyer e, conseqüentemente, o aumento do volume do balão. Entretanto, a distribuição homogênea do gás por todo o sistema e o movimento das partículas foram aspectos que não foram representados de forma condizente com o Modelo Cinético Molecular por toda a turma.

Para que os estudantes tivessem a oportunidade de explorar outros modos semióticos e de reelaborar as representações construídas para o sistema de partículas dentro do erlenmeyer, antes e após o aquecimento, a professora solicitou que estudantes realizassem uma teatralização desse fenômeno.

Os estudantes participantes da teatralização utilizaram a fala para explicar a delimitação do espaço. Em seguida, iniciaram os movimentos de vibração, rotação e translação (parte 1 da Figura 64). Conforme o sistema recebia energia, o que também foi indicado pela fala dos participantes, o movimento dos estudantes tornou-se mais amplo e eles foram preenchendo outros espaços da sala, indicando o aumento do volume do sistema (parte 2 da Figura 64).

Figura 64: Teatralização do fenômeno de aquecimento de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado



Fonte: Elaborado pela autora.

Após o término da teatralização, a professora questionou os participantes em relação ao aumento da intensidade dos movimentos de rotação, vibração e translação durante o aquecimento do sistema, e ressaltou os aspectos do Modelo Cinético Molecular contemplados na teatralização realizada. Ela destacou que é preciso levar em conta o aumento gradativo dos movimentos das partículas, já que os participantes da teatralização se movimentaram de forma constante durante toda a encenação. O modo semiótico da teatralização permitiu que os estudantes explorassem e explicitassem o movimento das partículas com o próprio corpo. Notamos que entre a primeira e a segunda experiência de teatralização houve um ganho de consciência sobre a existência dos movimentos que as partículas realizam, mas a ideia de que o aumento da temperatura propicia um aumento da velocidade do movimento pode não ter ficado clara para os estudantes. Após o segundo momento de discussão sobre os aspectos contemplados e não contemplados na teatralização, a estudante Helena argumentou que as representações estáticas (referindo-se ao desenho realizado na

lousa) não facilitam o entendimento de um fenômeno como a expansão do gás, pela dificuldade de representar o movimento das partículas. A realização da teatralização permitiu que os estudantes explorassem a representação do movimento das partículas e incorporassem esse aspecto ao desenho, simbolizando esse movimento com aspas (“). Diferentes representações são capazes de elucidar diferentes aspectos de um conceito ou explicação de um fenômeno, como Helena foi capaz de verbalizar. Ao navegar entre diferentes representações, o estudante acaba por entrar em contato com o que Tytler e colaboradores (2013a) denominam de restrições produtivas. Cada representação oferece informações sobre aspectos específicos de um conceito ou fenômeno, sem ser capaz de descrevê-lo completamente, o que justifica a utilização de diferentes modos e diferentes representações ao longo do trabalho com os estudantes.

O último fenômeno que analisaremos em relação ao uso de representações informais, embora não tenha sido a última etapa do desafio representacional que a professora desenvolveu, é a investigação da difusão de um gás. De forma distinta das duas primeiras intervenções, os estudantes não realizaram um experimento. A professora solicitou que os estudantes imaginassem o que acontece quando um gás de cozinha escapa do botijão, e explicassem, utilizando desenhos, o que acontece quando as partículas desse gás saem do botijão e se encontram com as partículas do ar atmosférico. Os estudantes tiveram um tempo de dez minutos para socializar com o grupo suas ideias e propor um desenho, que posteriormente foi registrado na lousa e compartilhado com toda a turma. A seguir, a representação elaborada pelo Grupo 6 (Figura 65) e um trecho da transcrição do momento de socialização da explicação para a turma.

Figura 65: Representação em desenho da difusão de um gás



Fonte: Elaborado pela autora.

Eduardo: *Eu coloquei os gases presentes no ar: oxigênio, hidrogênio, nitrogênio. Aí representei eles de azul. Os outros gases, que eu não sabia quais eram, eu coloquei de verde. A quantidade antes e depois não é a mesma, porque considerei o sistema aberto.*

Professora: *Por que você considerou as aspinhas do azul e do verde do mesmo tamanho?*

Eduardo: *Porque a agitação é a mesma. Eles estão na mesma temperatura. Temperatura ambiente.*

Professora: *Eles estão na mesma temperatura? E a temperatura não está relacionada à energia cinética? Então os movimentos de todas essas partículas gasosas precisam ser os mesmos. Todos tomaram cuidado com isso?*

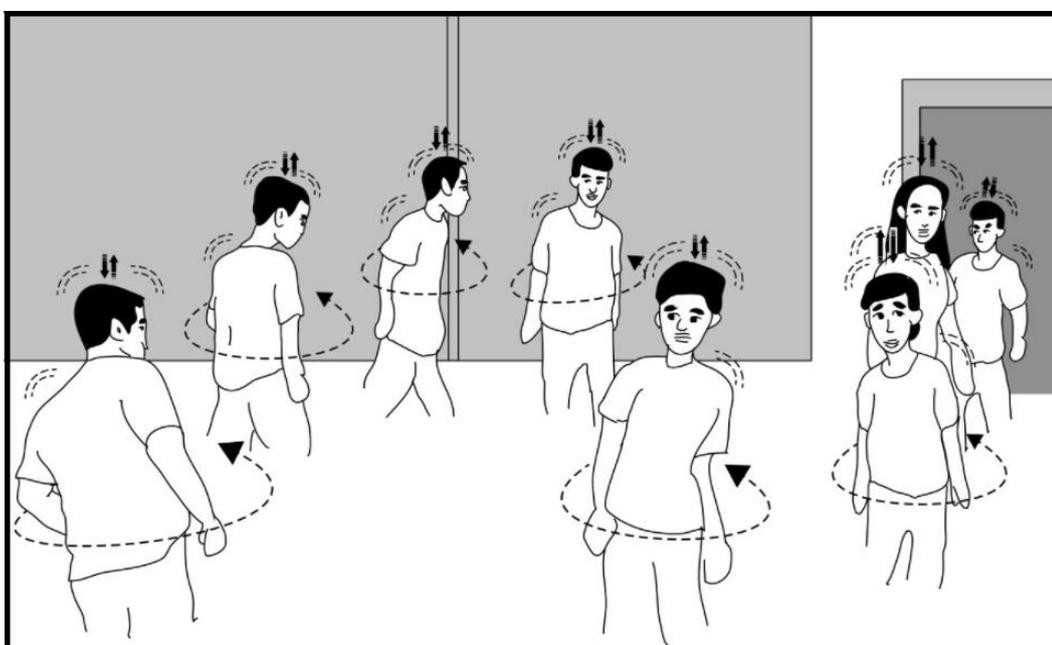
A representação construída pelo Grupo 6 contemplou a ideia de movimento das partículas, embora o desenho na lousa não permitisse a referência aos três movimentos existentes nas partículas em estado gasoso. A explicação de Eduardo, estudante do Grupo 6, para o fenômeno foi coerente com o Modelo Cinético Molecular e a professora interveio em sua fala para acrescentar a informação de que a energia cinética está relacionada ao movimento das partículas representado no desenho. Eduardo demonstrou consciência de que o sistema retratado era um sistema aberto e em função disso não indicou a quantidade exata de partículas que faziam parte do fenômeno analisado.

Embora a representação do Grupo 6 estivesse coerente com o Modelo Cinético Molecular, ela não é representativa de toda a turma, uma vez que alguns estudantes não incorporaram a ideia de movimento em seus desenhos. Para ampliar a discussão sobre essa questão e possibilitar o uso de outros modos semióticos para investigar o

fenômeno de difusão os estudantes se propuseram a realizar uma teatralização para explicar a difusão de um gás no ambiente.

Os estudantes participantes da teatralização utilizaram a fala para explicar que o sistema estava aberto e para identificar as pessoas que representavam as partículas de ar atmosférico e as que representavam as partículas do gás proveniente do botijão. Para iniciar a teatralização, os que representavam as partículas de ar atmosférico ficaram dispostos dentro da sala de aula e aqueles que representavam as partículas do gás foram para o lado de fora da sala, com a porta fechada. Um estudante sinalizou, utilizando a fala, que o gás do botijão estava vazando pelo ambiente, e nesse momento os estudantes que estavam do lado de fora da sala, e que representavam as partículas do gás do botijão, entraram correndo pela sala e se misturaram aos outros estudantes que representavam as partículas de ar atmosférico. Os estudantes que não estavam participando como atores envolveram-se no processo e comunicaram-se com os participantes da teatralização indicando que eles deveriam ser rápidos, já que estavam encenando o efeito do vazamento de um gás. Os participantes que representavam partículas de ar atmosféricos realizaram movimentos de vibração, rotação e translação desde o início da teatralização, e foram acompanhados pelos demais estudantes, representantes das partículas do gás do botijão. Os participantes da teatralização movimentaram-se de forma sincronizada, em termos de intensidade, conforme ilustra a Figura 66.

Figura 66: Teatralização do fenômeno de difusão de um gás



Fonte: Elaborado pela autora.

Com a utilização de outro modo semiótico foi possível explorar os movimentos das partículas gasosas de forma mais ampla. Notamos que os estudantes realizaram essa intervenção com autonomia e coerência em relação ao Modelo Cinético Molecular, não sendo necessária uma intervenção da professora para ajustar a representação e mediar o entendimento dos estudantes. Mesmo a saída da sala foi iniciativa dos próprios estudantes.

Comparando os três usos da representação informal na forma de teatralização no contexto de estudo do Modelo Cinético Molecular, descritos acima, é possível identificar a crescente autonomia dos estudantes, a coerência da representação com o fenômeno investigado e com o Modelo Cinético Molecular. Na teatralização para o fenômeno de compressão do gás contido em uma seringa foi necessário que a professora explicitasse a existência de movimento nas partículas gasosas e solicitasse que os estudantes incorporassem esse movimento à representação. Na teatralização para o fenômeno de aquecimento de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado, os estudantes incorporaram os movimentos, porém não o ampliaram conforme o sistema recebia aquecimento, sendo necessária a intervenção da professora ao longo do processo. E, finalmente, na teatralização do fenômeno de difusão de um gás, os estudantes utilizaram os conceitos trabalhados no decorrer dos processos e representaram o movimento das partículas de forma coerente, não sendo preciso que a professora mediasse ajustes durante a representação.

Enfatizamos que a experiência com o uso de representações informais subsidia a compreensão das representações formais e a compreensão do conceito ou fenômenos investigados, uma vez que aborda outras *affordances* da representação. Desse modo, além de apresentar outros modos semióticos capazes de auxiliar o processo de compreensão do conceito ou fenômeno, as representações informais auxiliam a elucidar aspectos das representações formais, e conseqüentemente o processo de construção de significado de um conceito ou fenômeno.

Retomamos os motivos usados por Prain e Waldrip (2006) para sustentar a aprendizagem por meio da criação e da manipulação de diferentes formas representacionais, ancoradas em diferentes modos semióticos, comentando a teatralização usada para cada um deles durante a discussão do modelo cinético molecular. O processo de construção, negociação, refinamento e justificação de representações auxilia os estudantes na confirmação dos conceitos já trabalhados. Ao longo das teatralizações realizadas pelos estudantes observamos evidências de

apropriação de alguns aspectos do Modelo Cinético Molecular, a exemplo da existência de espaços vazios e da conservação de massa, e que os estudantes foram capazes de representar esses aspectos utilizando outro modo semiótico. Observamos também um refinamento das representações e dos entendimentos dos conceitos abordados, além de um ganho em autonomia para propor reformulações para as representações exploradas ao longo das aulas.

Portanto, argumentamos que as representações informais tiveram um papel importante na construção de significados durante as aulas das duas professoras investigadas. Os processos de raciocínios informais envolvidos na proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações informais tiveram papel importante no processo de aquisição de conhecimento científico devido ao uso central da linguagem, por meio de metáforas e de argumentação. As representações informais também tiveram destaque no processo de construção do conhecimento por manterem a lógica desenvolvida em grandes centros de pesquisa para novas descobertas científicas, nos quais as representações informais são amplamente utilizadas na geração de ideias, na negociação e na criação imaginativa de novos modos de representação, como destacamos no Capítulo 02 (página 29-31) ao descrevermos registros de Faraday e Bragg (TYTLER *et al.*, 2013a).

CONSIDERAÇÕES FINAIS – O QUE APRENDEMOS COM A PESQUISA

Ao longo do processo de produção de conhecimento científico, em laboratórios e centros de pesquisas, faz parte da rotina dos cientistas eles se atualizarem quanto ao que tem sido divulgado em relação ao tema de interesse. Tendo em vista a complexidade envolvida na pesquisa científica, para que ela progrida a comunicação entre os pares é essencial. Essa comunicação ocorre por meio da leitura de livros e de artigos científicos e do compartilhamento entre os pares em eventos e congressos. De acordo com Latour e Woolgar (1997), na Ciência, assim como outras práticas sociais, os indivíduos lançam mão de estratégias persuasivas que visam garantir a aceitação dos enunciados por eles produzidos. Essas estratégias se utilizam de diferentes modos e recursos semióticos durante o processo de produção e de comunicação do conhecimento. Dessa forma, podemos dizer que a Ciência é produzida e comunicada por meio de representações multimodais (TYTLER *et al.*, 2013a).

Ao longo do Capítulo 02 desta tese apresentamos algumas situações que Gooding mapeou para exemplificar como o uso de diferentes modos semióticos faz parte do processo de comunicação entre os cientistas, e como representações em forma de esboços e rascunhos, utilizadas para organização de ideias e pensamentos, foram essenciais na proposição de novas descobertas. De acordo com esse autor, os modos visuais de representação são essenciais para a geração, comunicação e divulgação de novos conhecimentos. Gooding (2004, 2006, 2010) apresentou algumas estratégias de visualização utilizadas por cientistas de diferentes áreas para manipular a dimensionalidade das imagens valendo-se de diferentes representações, sejam elas locais (relatos de experimentos), pessoais (esboços e desenhos de processos) ou imagens canônicas. Essa estratégia de manipulação de imagens demonstra como o *status* cognitivo das imagens visuais muda à medida que os cientistas integram novos conhecimentos usando de representações em seus argumentos. Portanto, afirmamos que as representações multimodais também são usadas para organizar o pensamento do cientista e para auxiliá-lo na proposição de representações que, posteriormente, podem vir a se tornar representações canônicas.

Nos Capítulos 04 e 05 compartilhamos a análise de desafios representacionais em dois contextos distintos, envolvendo uma turma de nono ano do Ensino Fundamental e uma turma de primeiro ano do Ensino Médio, ao longo do trabalho com

os conteúdos da Geometria e Polaridade das Moléculas e do Modelo Cinético e Molecular, respectivamente. Nos conjuntos de aulas analisadas, os dados nos mostram que o processo de proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações centrado nos estudantes auxiliou no entendimento dos modelos usados pela Ciência e, portanto, na apropriação do conhecimento científico. Para que os desafios representacionais culminassem em uma representação próxima da canônica, muitas representações informais foram usadas. No Capítulo 06 direcionamos o nosso olhar para o uso de representações informais e a forma como essas representações apoiaram o processo de apropriação do conhecimento científico e, conseqüentemente, o processo de construção e entendimento de representações canônicas.

No contexto de trabalho do conteúdo de Geometria Molecular, na turma de nono ano que participou desta pesquisa, destacamos o uso das representações informais no entendimento da representação da molécula de metano (CH_4). Dentre as propostas dos desafios representacionais, essa é a molécula mais complexa em termos de geometria molecular, tendo em vista a existência de ligações entre seus átomos tanto no plano quanto fora dele. Notamos que os estudantes do nono ano, ao iniciarem o processo de proposição, justificção, negociação e reelaboração da representação da geometria da molécula de metano demonstraram mais autonomia e segurança nessas ações e foram capazes de retomar ideias e argumentos que permearam os diálogos ao longo das aulas relacionadas às representações.

A sequência de desafios representacionais para a molécula de metano foi semelhante à proposta para as outras moléculas: representação de Lewis, representação de traços, representação utilizando balões de festa, compartilhamento com a turma, representação em forma de teatralização, e, por fim, uma nova representação de traços em três dimensões. Na sequência analisada, há evidências de que a representação de Lewis, representação formal, não cumpriu seu propósito de auxiliar na construção de uma nova representação que abrangesse a representação de traços. Possivelmente a representação de Lewis, construída pelos estudantes, não auxiliou no processo de construção de significados (PRAIN; WALDRIP, 2006), pois não permitiu o entendimento da organização espacial dos átomos da molécula sob estudo. Isso levou os estudantes a proporem uma representação com traços incoerente com a teoria de repulsão dos pares de elétrons de valência. A manipulação dos balões de festa, representação informal, permitiu que

os estudantes visualizassem a organização espacial dos átomos na molécula de metano, e conseqüentemente, auxiliou os estudantes na proposição da representação final de traços.

As representações que denominamos de formais, comumente utilizadas em aulas de Ciências e de Química e que se aproximam das representações canônicas, carregam uma grande bagagem conceitual e, conseqüentemente, uma maior abstração. Defendemos que o uso de representações informais auxilia no processo de compreensão das representações formais e também dos conceitos e fenômenos investigados, uma vez que aborda outras *affordances* da representação. Desse modo, além de apresentar outros modos semióticos capazes de auxiliar o processo de compreensão do conceito ou fenômeno, as representações informais auxiliam na identificação de aspectos das representações formais, bem como no processo de construção de significado de um conceito ou fenômeno.

No contexto de trabalho do conteúdo de Modelo Cinético Molecular, na turma de primeiro ano que participou desta pesquisa, destacamos o uso das representações informais utilizadas para elucidar os conceitos em estudo. Ao longo dos desafios representacionais os estudantes foram convidados a explorar experimentos, representar os fenômenos investigados em forma de desenhos, compartilhar com a turma as representações construídas, realizar teatralizações e reelaborar as representações em forma de desenhos. Representações formais e informais foram intercaladas ao longo dos desafios representacionais, seguindo a lógica de proposição, justificção, negociação e reelaboração de representações.

Destacamos aqui o uso de representações informais na investigação do fenômeno de difusão de um gás. Para a investigação desse fenômeno a professora solicitou que os estudantes imaginassem o que acontece quando um gás de cozinha escapa do botijão, e explicassem, utilizando desenhos, o que acontece quando as partículas do gás de cozinha saem do botijão e se encontram com as partículas do ar atmosférico.

Já na representação inicial, utilizando desenhos, os estudantes contemplaram a ideia de movimento das partículas, embora não tenham explicitado os três movimentos apresentados pelas partículas em estado gasoso. Para ampliar o olhar para os tipos de movimento das partículas gasosas, inclusive em relação à sua intensidade, os estudantes representaram o sistema em questão utilizando a teatralização. Os estudantes participantes da teatralização utilizaram a fala para

explicar que o sistema estava aberto e identificar as pessoas que representavam as partículas de ar atmosférico e as que representavam as partículas do gás proveniente do botijão. No início da teatralização, aqueles que representavam as partículas de ar atmosféricos estavam dispostos dentro da sala de aula e os que representavam as partículas do gás estavam do lado de fora da sala, com a porta fechada. Um estudante sinalizou, utilizando a fala, que o gás do botijão estava vazando pelo ambiente, e nesse momento os estudantes que estavam do lado de fora, os que representavam as partículas do gás do botijão, “invadiram” a sala correndo e se misturando aos outros estudantes que representavam as partículas de ar atmosférico. Nesse momento percebemos uma grande “empolgação” dos estudantes que não estavam participando da teatralização como atores, pois eles se envolveram no processo, indicando que os colegas “gás de cozinha” deveriam ser mais rápidos, já que estavam encenando o efeito do vazamento. Os estudantes que representavam partículas de ar atmosférico realizaram movimentos de vibração, rotação e translação desde o início da teatralização, e foram acompanhados pelos demais estudantes, representantes das partículas do gás do botijão. Entendemos que essa atividade serviu como uma forma de consolidação da ideia de movimento de partículas, além de mostrar o potencial da teatralização também para envolver os estudantes na atividade, uma vez que mesmo a “plateia” participou ativamente.

A teatralização permitiu a exploração dos movimentos das partículas de uma forma mais ampla. Notamos que os estudantes realizaram essa intervenção com engajamento, autonomia e coerência em relação ao Modelo Cinético Molecular, não sendo necessária uma intervenção da professora para ajustar a representação e mediar o entendimento dos estudantes. Mesmo a saída da sala foi iniciativa dos próprios estudantes. Comparando o uso da representação informal na forma de teatralização no contexto de estudo do Modelo Cinético Molecular com as demais teatralizações realizadas ao longo dos desafios representacionais é possível identificar a crescente autonomia dos estudantes, a coerência da representação com o fenômeno investigado e com o Modelo Cinético Molecular.

Ressaltamos que o uso de representações informais subsidia a compreensão das representações formais e a compreensão do conceito ou fenômenos investigados também pelo fato de que essa informalidade permite que os fenômenos sejam explorados de uma maneira mais lúdica e, como consequência, menos complexa. Desse modo, além de apresentar outros modos semióticos capazes de auxiliar o

processo de compreensão do conceito ou do fenômeno, as representações informais auxiliam a identificar aspectos das representações formais e, conseqüentemente, contribuem com o processo de construção de significado de um conceito ou fenômeno.

Retomamos, agora, as questões específicas de pesquisa que nortearam o desenvolvimento deste trabalho:

- Como os estudantes utilizam a linguagem e outros modos semióticos para mediar o processo de comunicação entre os pares durante a construção de representações multimodais?

No decorrer dos desafios representacionais, os estudantes mesclaram o uso da linguagem oral e das representações formais e informais utilizadas para argumentar e construir explicações sobre os conceitos e fenômenos investigados. Ao longo dos capítulos 04 e 05 discorremos sobre episódios em que os estudantes protagonizaram o processo de construção de representações e se comunicaram com os pares e com as professoras com o intuito de explicar e aprimorar as representações construídas. Retomamos duas situações em que os estudantes protagonizaram o processo de comunicação, tendo como base a linguagem e outros modos semióticos.

Durante os desafios representacionais, na turma de nono ano, houve um momento em que uma das estudantes alertou um colega de turma sobre a inadequação da representação do grupo. A estudante Júlia, que compartilhou com a turma a representação da geometria da molécula de metano (CH_4), alertou o grupo responsável por construir a representação da geometria da molécula de amônia (NH_3), afirmando que o grupo estava condicionando os balões a uma determinada orientação, assim como seu grupo havia feito na representação da geometria da molécula de metano. Isso mostra que Júlia estava atenta a essas representações e foi capaz de usar os conhecimentos que mobilizou para reformular a representação da molécula de metano também para analisar a representação da molécula de amônia. Júlia lançou mão da linguagem oral e de representações informais (manipulação dos balões de festa) para argumentar sobre a inadequação da representação. A análise completa do episódio está no Capítulo 04, página 89.

A segunda atividade desenvolvida com a turma de primeiro ano ao longo dos desafios representacionais foi a construção de representações a partir do experimento de aquecimento de um erlenmeyer no qual um balão tinha sido acoplado. Ao observarem o aumento do volume do balão, ocasionado pela expansão das partículas

de ar contidas no sistema durante o aquecimento, os estudantes foram convidados pela professora a representarem, com um desenho, o sistema de partículas antes e após o aquecimento. Durante o compartilhamento das representações a estudante Helena protagonizou a discussão e questionou os colegas em relação ao fato de as partículas não estarem distribuídas uniformemente no sistema nas representações de alguns grupos. Ela utilizou como argumento que a elevação da temperatura aumenta a energia do sistema. Porém, quando um outro estudante fez um comentário em relação ao número de partículas no erlenmeyer e no balão, em função de uma corrente de convecção que se forma dentro do sistema, Helena valeu-se de conceitos como densidade e energia cinética para explicar ao colega a distribuição homogênea de partículas no sistema. A partir das contra-argumentações do colega, Helena mostrou a sua própria linha de raciocínio, que considerava a energia cinética e se aproximava da explicação canônica para o fenômeno em questão (análise completa no Capítulo 05, páginas 117 e 118). Ao longo de sua explanação, Helena fez uso da linguagem verbal e manipulou as representações presentes no quadro para argumentar e defender a explicação que julgava coerente para o fenômeno. Ela demonstrou segurança em sua fala e na orquestração de diferentes modos semióticos no processo de comunicação. Nessas aulas em que a representação elaborada pelos estudantes foi discutida, não há dúvidas de que as aulas foram interativas e de que o discurso foi dialógico (MORTIMER; SCOTT, 2003). Portanto, concordamos com Tytler e colaboradores (2013a) ao afirmarem que o processo de negociação presente nas representações multimodais promove mais amplamente o discurso dialógico.

- Como o questionamento adequado das professoras serve como mediação entre aquilo que os estudantes propõem e a forma canônica de representar conceitos e fenômenos científicos?

Para que o estudante participe ativamente do processo de ensino e aprendizagem é necessário que o professor esteja à frente do processo, antecipando questionamentos e dúvidas e oportunizando um ambiente favorável para que os estudantes possam se expressar. O professor é responsável pela mediação entre os conhecimentos já adquiridos pelos estudantes e aqueles em processo de apropriação. No trabalho com representações multimodais não é diferente. A sequência de desafios representacionais construída pelas professoras, a forma como os estudantes foram engajados e desafiados ao longo do processo, o questionamento adequado das professoras para identificar as concepções prévias e instigar os estudantes a

argumentarem sobre as representações construídas foram fundamentais para que os estudantes tivessem a oportunidade de reelaborar as representações propostas e se apropriar do conhecimento científico trabalhado. Retomamos duas situações em que o questionamento adequado das professoras auxiliou os estudantes no entendimento e na reformulação das representações.

Durante a socialização da representação da geometria da molécula de trifluoreto de boro (BF_3) utilizando balões, na turma de nono ano, os estudantes foram questionados pela professora sobre a correspondência entre a representação da molécula com balões e a representação de traços que eles haviam registrado no quadro. Esse questionamento da professora permitiu que os estudantes percebessem que as duas formas representacionais não informam as mesmas características em relação à geometria da molécula em questão. A professora redirecionou o olhar dos estudantes, ao questionar sobre a angulação entre os balões e a angulação entre as esferas registradas no quadro (análise completa do episódio no Capítulo 04, página 84. Esse é um exemplo de mediação no início do desafio representacional. Nesse momento o diálogo ainda era centrado nos questionamentos da professora. No decorrer das intervenções os estudantes foram ganhando autonomia e segurança para questionar e argumentar sobre as representações construídas e foram amparados e guiados pela professora ao longo de todo o processo.

A primeira atividade desenvolvida com a turma de primeiro ano durante os desafios representacionais foi a construção de representações a partir do experimento de compressão do ar contido dentro de uma seringa, levando em conta o sistema de partículas antes e após a compressão.

Alguns estudantes não levaram em consideração a conservação de massa do sistema durante a compressão do ar contido no interior da seringa ao construírem as representações para o fenômeno. O fato de os estudantes não terem se atentado para a conservação das partículas no sistema fechado mostra que havia limitações entre o que sabiam e a forma como representavam. Após o questionamento da professora sobre esse aspecto, a quantidade de partículas foi repensada, o que pode ter auxiliado esses estudantes a aumentarem a consciência em torno da representação. Ao questionar os estudantes em relação aos aspectos presentes em sua representação, a professora possibilitou que eles refletissem sobre o que tinha sido elaborado, e os auxiliou na compreensão do significado da representação (análise completa no Capítulo 05, página 112. Portanto, argumentamos que não basta abrir espaço para

que o estudante exponha suas ideias. A mediação se mostra importante e deve ser conduzida pelos professores, para que os estudantes aumentem a percepção tanto sobre o fenômeno em questão quanto sobre a própria representação.

- Como as representações informais, não comumente utilizadas em aulas de Ciências e de Química, auxiliam os estudantes na apropriação de representações formais?

Ao longo do Capítulo 06 retomamos os momentos em que as representações informais auxiliaram os estudantes na compreensão e na construção de representações formais. Retomamos aqui duas situações em que a teatralização, que classificamos como uma representação informal, foi utilizada para elucidar um conceito ou fenômeno e para apoiar o processo de construção do conhecimento científico dos estudantes.

A teatralização foi utilizada pelos estudantes da turma de nono ano para elucidar o conceito de polaridade, tendo como base a molécula de água. Os estudantes, sob mediação da professora, organizaram-se de forma autônoma para representar os átomos de oxigênio e hidrogênio envolvidos na estrutura da molécula. Essa organização se deu de forma coerente com a geometria da molécula de água e envolveu um diálogo sobre os movimentos que seriam necessários para representar a força de atração que o átomo de oxigênio exerce sobre as nuvens eletrônicas dos átomos de hidrogênio. Os estudantes desenvolveram uma comunicação assertiva ao longo do processo e também coordenaram de maneira adequada os movimentos corporais e a linguagem oral para explicar os fenômenos que estavam representando.

Após terem explorado a teatralização da representação da polaridade da molécula de água (H_2O), os estudantes foram desafiados a executar a teatralização da polaridade da molécula de metano (CH_4). Essa representação incorporada é mais complexa por envolver um número maior de pessoas e pela necessidade de representar a geometria tetraédrica dessa molécula. Os estudantes organizaram-se no espaço, inicialmente de forma autônoma, e em seguida o estudante que representava o átomo de carbono iniciou a representação da atração dos estudantes que faziam as vezes dos átomos de hidrogênio. Os estudantes realizaram algumas tentativas para representar as quatro forças de atração simultaneamente, até que a professora sugeriu que os estudantes se valessem da decomposição das forças (análise completa do episódio no Capítulo 06, página 150). A mediação da professora foi fundamental para que os estudantes fossem capazes de realizar a decomposição

das forças e de analisar o valor da resultante de cada decomposição. Esse exercício de construção, negociação, refinamento e justificação de representações auxiliou os estudantes a consolidarem o entendimento de geometria molecular, a iniciarem o processo de investigação de forças e de vetores, conceitos que foram usados para investigar a polaridade das moléculas de água (H_2O) e metano (CH_4), e a identificarem a diferença entre a polaridade de uma ligação e a polaridade de uma molécula.

O segundo episódio que retomamos refere-se ao uso de representações informais com a turma de primeiro ano, no contexto do estudo do Modelo Cinético Molecular. No Capítulo 06 discorreremos sobre o processo de construção, negociação, refinamento e justificação de representações informais e como esse processo auxiliou a turma no entendimento do Modelo Cinético Molecular. Ao longo dos desafios representacionais utilizados para explorar esse conteúdo, a professora lançou mão de representações formais (experimentos e desenhos na lousa) e representações informais (teatralizações) para auxiliar os estudantes a investigar os fenômenos de compressão do ar contido em uma seringa, de aquecimento de um erlenmeyer com um balão acoplado, de dilatação de um líquido no capilar de um termômetro e de difusão de um gás. Ao longo dos desafios representacionais identificamos o papel fundamental das representações informais na construção do entendimento dos fenômenos investigados, auxiliando na consolidação da compreensão dos estudantes sobre cada fenômeno e na ampliação do olhar para aspectos do Modelo Cinético Molecular que não tinham sido contemplados nas representações formais utilizadas ao longo dos desafios representacionais.

Analisamos três usos da representação informal na forma de teatralização, descritos de forma detalhada no Capítulo 06. Ao longo desses três episódios é notória a evolução dos estudantes em termos de autonomia e coerência da representação construída com o fenômeno investigado e com o Modelo Cinético Molecular. No decorrer das etapas do desafio representacional as intervenções da professora, tornaram-se menos necessárias e, ao final do processo, os estudantes foram capazes de propor uma representação coerente com o Modelo Cinético Molecular e com as discussões realizadas durante todo o percurso.

Com base na análise das questões específicas de pesquisa, passamos à resposta da questão principal:

- Quais as contribuições dessa abordagem de ensino para a apropriação dos conceitos científicos pelos estudantes?

A abordagem de ensino baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações multimodais contribui para o entendimento de conceitos científicos ao passo que insere o estudante em um contexto de construção de conhecimento que se aproxima do processo de construção da própria Ciência. Ao utilizar os desafios representacionais, o professor permite que os estudantes tenham acesso aos conceitos e fundamentos que irão explicar um fenômeno de forma gradativa. O uso de representações que exploram diferentes modos semióticos permite a exploração de diferentes aspectos do conceito ou fenômenos e o estudante é capaz de construir um entendimento mais sólido sobre o conteúdo explorado.

Argumentamos que a abordagem que lança mão dessas estratégias, assim como outras abordagens contemporâneas de ensino, auxilia no processo de aquisição de conhecimento científico e aproxima os estudantes do processo real de produção de conhecimento científico. No caso da turma de Ensino Fundamental, os conceitos trabalhados, polaridade das moléculas e a geometria espacial, são assuntos complexos e nada triviais para esse nível de escolaridade. No entanto, observamos que os estudantes lidaram bem com esses conceitos a partir do trabalho realizado. Na turma de Ensino Médio o Modelo Cinético Molecular foi amplamente explorado e, ao analisarmos as aulas que envolviam as transformações químicas, observamos que esses estudantes demonstraram um conhecimento que, ousamos dizer, foi acima da média para esse nível de escolaridade.

Os questionamentos que nortearam o desenvolvimento deste trabalho não tinham como foco central a análise da performance do professor. Entretanto é válido ressaltar como a experiência de atuar como professora pesquisadora, na turma de nono ano, possibilitou um olhar mais crítico sobre as potencialidades e limitações do trabalho com desafios representacionais. O entendimento das habilidades prévias da turma de nono ano foram importantes para nivelar as primeiras atividades dos desafios representacionais, assim como organizar os grupos de trabalho, tendo em vista as habilidades individuais de cada estudante. O fato de acompanhar a turma em momentos anteriores à produção de dados possibilitou analisar o envolvimento e engajamento dos estudantes, em comparação ao trabalho em outros contextos em que as aulas não foram planejadas e desenvolvidas com base em desafios representacionais. Por fim, essa vivência ampliou o olhar de professora, que passou a planejar outros conteúdos, com o intuito de analisar quais representações e modos

semióticos podem ser orquestrados para a construção de outros desafios representacionais.

Com as respostas parcialmente respondidas, não podemos deixar de dizer que outras perguntas se impõem: como inserir as representações multimodais em outros conteúdos de Ciências? Como engajar outros professores no uso da abordagem baseada na proposição, justificação, negociação e reelaboração de representações? São perguntas que nos acompanharão ao longo de nossa trajetória de professoras e que, certamente, provocarão mudanças em nossa própria prática.

REFERÊNCIAS

- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Bookman Editora, 2018.
- BLOWN, E.; BRYCE, T. G. K. Conceptual coherence revealed in multi-modal representations of astronomy knowledge. **International Journal of Science Education**, v. 32, n. 1, p. 31-67, 2010.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto Editora, 1994.
- BRASIL. **Portaria Ministerial n. 438**, de 28 de maio de 1998. Institui o Exame Nacional do Ensino Médio (Enem). Diário Oficial da União, Brasília, 176 DF, 1 jun. 1998a. Seção 1, p. 5. Disponível em: http://www.crmariocovas.sp.gov.br/pdf/diretrizes_p0178-0181_c.pdf Acesso em 01/09/2020.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília, DF: MEC/SEF, 1998b.
- BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Conselho Pleno. **Resolução CNE/CP nº 2**, de 22 de dezembro de 2017.
- BROWN, J.; MURCIA, K.; HACKLING, M. Slowmation: A multimodal strategy for engaging children with primary science. *Teaching Science*, v. 59, n. 4, p. 14, 2013.
- CARVALHO, A. M. P. (Org.) **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- CHAPMAN, B. The overselling of science education in the 1980s. **Teaching Science**, p. 190-205, 1994.
- COPE, B.; KALANTZIS, M. Towards a New Learning: the Scholar social knowledge workspace, in theory and practice. **E-learning and Digital Media**, v. 10, n. 4, p. 332-356, 2013.
- DANIELSSON, K. Modes and meaning in the classroom – the role of different semiotic resources to convey meaning in science classrooms. **Linguistics and Education**, v. 35, p. 88-99, 2016.
- DE JONG, O. Context-based chemical education: How to improve it? **Chemical Education International**, v. 8, n. 1, p. 1-7, 2008.
- DEMIRBAG, M.; GÜNEL, M. Integrating Argument-Based Science Inquiry with Modal Representations: Impact on Science Achievement, Argumentation, and Writing Skills. **Educational Sciences: Theory and Practice**, v. 14, n. 1, p. 386-391, 2014.
- DRIVER, R. Student's conceptions and the learning of science. **International Journal of Science Education**, v. 11(special issue), p. 481-490, 1989.
- DRIVER, R.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Construindo conhecimento científico na sala de aula. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 9, p. 31-40, 1999.
- EDWARDS, N. Multimodality in science education as productive pedagogy in a PGCE programme. **Perspectives in Education**, v. 33, n. 3, p. 159-175, 2015.

- FERREIRA, P. F. M.; JUSTI, R. S. Modelagem e o “fazer ciência”. **Química Nova na Escola**, v. 28, p. 32-36, 2008.
- FIALHO, W. C. G.; MENDONÇA, S. O Pisa como indicador da aprendizagem de Ciências. **Roteiro**, v. 45, p. 1-23, 2020.
- FOUREZ, G. Crise no Ensino de Ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.
- GIBSON, J. J. **The ecological approach to visual perception**. Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GILBERT, J. K. Representations and models. *In*: TYTLER, R.; PRAIN, V.; HUBBER, P.; WALDRIP, B. (Ed.) **Constructing representations to learn in science**. The Netherlands: Springer Science & Business Media, p. 193-198, 2013.
- GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. Stretching models too far. *In*: **Annual Conference of the American Educational Research Association**, San Francisco, 1995.
- GILBERT, S. W. Model building and a definition of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 28, n. 1, p. 73-79, 1991.
- GILBERT, S. W. **Models-based Science Teaching**. Arlington, Virginia: NSTA Press, 2011.
- GILLIES, R. M.; BAFFOUR, B. The effects of teacher-introduced multimodal representations and discourse on students’ task engagement and scientific language during cooperative, inquiry-based Science. **Instructional Science**, v. 45, n. 4, p. 493-513, 2017.
- GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.
- GOODING, D. Visualization, inference and explanation in the Sciences. *In*: Malcolm, G. (Ed.) **Studies in Multidisciplinarity**, v. 2, Elsevier, p. 1-25, 2004.
- GOODING, D. C. From phenomenology to field theory: Faraday’s visual reasoning. **Perspectives on Science**, v. 14, p. 40-65, 2006.
- GOODING, D. C. Visualizing scientific inference. **Topics in Cognitive Science**, v. 2, n. 1, p. 15-35, 2010.
- HACKLING, M.; MURCIA, K.; IBRAHIM-DIDI, K. Teacher orchestration of multimodal resources to support the construction of an explanation in a Year 4 Astronomy topic. **Teaching Science**, v. 59, n. 1, p. 7, 2013.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**, vol. 1: Mecânica. **LTC**, 2012.
- HALLIDAY, M. A. K. **Language as Social Semiotic**. London: Edward Arnold, 1978.
- HALLIDAY, M. A. K.; MARTIN, J. R. **Writing Science: Literacy and discursive power**. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1993.
- HAMPSON, P. J.; MORRIS, P. E. **Understanding cognition**. Oxford: Blackwell, 1996.
- HAN, I.; BLACK, J. B. Incorporating haptic feedback in simulation for learning physics. **Computers and Education**, v. 57, n. 4, p. 2281-2290, 2011.

- HAND, B.; CHOI, A. Examining the impact of student use of multiple modal representations in constructing arguments in organic chemistry laboratory classes. **Research in Science Education**, v. 40, n. 1, p. 29-44, 2010.
- HAND, B.; GÜNEL, M.; ULU, C. Sequencing embedded multimodal representations in a writing to learn approach to the teaching of electricity. **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**, v. 46, n. 3, p. 225-247, 2009.
- HAND, B.; MCDERMOTT, M.; PRAIN, V. (Ed.) **Using multimodal representations to support learning in the Science classroom**. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- HOBAN, G.; NIELSEN, W. Using “Slowmation” to enable preservice primary teachers to create multimodal representations of science concepts. **Research in Science Education**, v. 42, n. 6, p. 1101-1119, 2012.
- HUBBER, P.; TYTLER, R.; HASLAM, F. Teaching and learning about force with a representational focus: Pedagogy and teacher change. **Research in Science Education**, v. 40, n. 1, p. 5-28, 2010.
- INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Sinopse Estatística da Educação Básica, 2015-2019. Disponível em <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/resultados>, acesso em 06/09/2021.
- JANUARIO, G.; MANRIQUE, A. L.; PIRES, C. M. C. Conceitos de affordance e de agência na relação professor-materiais curriculares em Educação Matemática. **Bolema: Boletim de Educação Matemática**, v. 32, n. 60, p. 1-30, 2018.
- JEWITT, C. Multimodality and Literacy in School Classrooms. **Review of Research in Education**, v. 32, p. 241-267, 2008.
- JEWITT, C. **The routledge handbook of multimodal analysis**. London: Routledge, 2009.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; ERDURAN, S. Argumentation in Science Education: An Overview. *In*: ERDURAN, S.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (Ed.) **Argumentation in Science Education: perspectives from classroom based research**. Dordrecht: Springer, 2007.
- JOHNSON-LAIRD, P. **Mental models**. Cambridge, MA: Harvard University Press, p. 513, 1983.
- JUSTI, R. S.; GILBERT, J.K. Models and Modeling in Chemical Education. *In*: GILBERT, J. K.; JONG, O.; JUSTI, R.; TREAGUST, D. F.; VAN DRIEL, J. H. (Ed.), **Chemical Education: Towards Research based Practice**, Dordrecht: Kluwer, p. 47-68, 2003.
- KENSKI, V. M. Aprendizagem mediada pela tecnologia. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 4, n. 10, p. 47-56, 2003.
- KLEIN, P. D.; KIRKPATRICK, L. C. Multimodal literacies in science: Currency, coherence and focus. **Research in Science Education**, v. 40, n. 1, p. 87-92, 2010.
- KOZMA, R. The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. **Learning and Instruction**, v. 13, p. 205-226, 2003.

- KOZMA, R.; RUSSELL, J. Students becoming chemists: Developing representational competence. *In: GILBERT, J. K. (Ed.) Visualization in Science Education*. Springer: Dordrech, p. 121-145, 2005.
- KRESS, G. What is mode? *In: JEWITT, C. (Ed.) The Routledge Handbook of Multimodal Analysis*, London: Routledge, p. 54-67, 2009.
- KRESS, G. **Multimodality: a social semiotic approach to contemporary communication**. New York: Routledge, 2010.
- KRESS, G.; LEITE-GARCÍA, R.; VAN LEEUWEN, T. Semiótica Discursiva. *In: VAN DIJK, T. A. (Org.) El discurso como estructura y proceso*. Barcelona: Gedisa Editorial, 2001.
- KRESS, G.; VAN LEEUWEN, T. **Reading Images: The Grammar of Visual Design**. London; New York: Routledge, 2006.
- LABURÚ, C. E.; ZOMPERO, A. F.; BARROS, M. A. Vigotski e múltiplas representações: leituras convergentes para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 7-24, 2013.
- LATOUR, B. Visualization and cognition: Drawing things together. *In: KUKLICK, H.; LONG, E. (Ed.) Knowledge and Society: studies in the sociology of culture past and present*, v. 6, p. 1-40, 1986.
- LATOUR, B. **Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora**. São Paulo: Unesp, 2000.
- LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.
- LEHRER, R.; SCHAUBLE, L. **Cultivating model-based reasoning in Science education**. Cambridge University Press, 2006.
- LEMKE, J. L. **Talking Science: Language, Learning and Values**. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 1990.
- LEMKE, J. Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. *In: MARTIN J. R.; VELL, R. (Ed.) Reading science: critical and functional perspectives on discourses of science*. New York: Routledge, p. 87-113, 1998.
- LIM, F. V. **Designing Learning with Embodied Teaching: Perspectives from Multimodality**. Routledge, 2020.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.
- MANZINI, E. J. A entrevista na pesquisa social. **Didática**, São Paulo, v. 26-27, p. 149-158, 1991.
- MACHADO, L.; RAGGAZZI, M.; GUEDES, R. **Ciências**. Belo Horizonte: Bernoulli Sistema de Ensino, 2019.
- MARQUES, J. P. A “observação participante” na pesquisa de campo em Educação. **Educação em Foco**, v. 19, n. 28, p. 263-284, 2016.
- MEMIŞ, E. K.; ÖZ, M. The Impact of Using Representation Modes within Writing to Learn Activities on the Scientific Process Skills of the Fifth Grade Students. **Journal of Education and Training Studies**, v. 5, n. 2, p. 31-42, 2017.

- MILLAR, R. Um Currículo de Ciências voltado para a compreensão por todos. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 146-164, 2003.
- MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigações em ensino de ciências**. Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.
- MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education**, v. 4, n. 3, p. 267-285, 1995.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, v. 23, p. 273-283, 2000.
- MORTIMER; E. F.; MORO; L.; SÁ; E. F. Referenciais teóricos utilizados na pesquisa: discurso, semiótica social e multimodalidade *In*: MORTIMER, E. F.; QUADROS, A. L. (Org.) **Multimodalidade no Ensino Superior**. Ed. Unijuí, 2018, p. 17-54.
- MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de Ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 3, p. 283-306, 2002.
- MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. **Meaning Making In Secondary Science Classrooms**. McGraw-Hill Education (UK), 2003.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química-1**. São Paulo: Scipione, 2012.
- MURCIA, K. Multi-modal representations in primary science: What's offered by interactive whiteboard technology. **Teaching Science: The Journal of the Australian Science Teachers Association**, v. 56, n. 1, p. 23-29, 2010.
- NERSESSIAN, N. Model-based reasoning in scientific practice. *In*: DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. E. **Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation**. Brill Sense, 2008, p. 57-79.
- NICHOLS, K. Impact of professional learning on teachers' representational strategies and students' cognitive engagement with molecular genetics concepts. **Journal of Biological Education**, v. 52, n. 1, p. 31-46, 2018.
- NITZ, S.; PRECHTL, H.; NERDEL, C. Survey of classroom use of representations: Development, field test and multilevel analysis. **Learning Environments Research**, v. 17, n. 3, p. 401-422, 2014.
- NORMAN, D. A. Some observations on mental models. *In*: GENTNER, D.; STEVENS, A. L. (Ed.) **Mental models**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 7-14, 1983.
- NORMAN, D. A. Affordances, conventions and design. **Interactions**, v. 6, n. 3, p. 38-43, 1999.
- NORRIS, S. **Analyzing multimodal interaction: a methodological framebook**. Nova York: Routledge, 2004.
- OH, P. S.; OH, S. J. What teachers of science need to know about models: An overview. **International Journal of Science Education**, v. 33, n. 8, p. 1109-1130, 2011.

- PENA, D. M. B. **Do planejamento à prática: a influência de um material didático na prática de um grupo de professores em formação em Química.** Dissertação (Mestrado em Educação). 2016, 148 p. Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.
- PENA, D. M. B.; QUADROS, A. L. Professores em formação: uma experiência com representações multimodais. *In: QUADROS, A. L. (Org.) Representações multimodais no Ensino de Ciências compartilhando experiências.* 1ed. Curitiba: Editora CRV, 2020, v. 1, p. 31-45.
- PIAGET, J. **Genetic epistemology.** Nova Iorque: Columbia University Press, 1970.
- PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência&Educação**, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.
- PRAIN, V.; TYTLER, R. Learning through the affordances of representation construction. *In: TYTLER, R.; PRAIN, V.; HUBBER, P.; WALDRIP, B. (Ed.) Constructing representations to learn in science.* Brill Sense, p. 67-82, 2013.
- PRAIN, V.; WALDRIP, B. An exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary Science. **International Journal of Science Education**, v. 28, n. 15, p. 1843-1866, 2006.
- PRAIN, V.; WALDRIP, B. Representing science literacies: An introduction. **Research in Science Education**, v. 40, n. 1, p. 1-3, 2010.
- QUADROS, A. L. A água como tema gerador do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**, n. 20, p. 26-31, 2004.
- QUADROS, A. L. **Aulas no ensino superior: uma visão sobre professores de disciplinas científicas na Licenciatura em Química da UFMG.** 2010. 291 p. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
- QUADROS, A. L.; GIORDAN, M. Rotas de transição modal e o ensino de representações envolvidas no modelo cinético molecular. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 3, p. 74-100, 2019.
- QUADROS, A. L. (Org.) **Representações multimodais no ensino de Ciências: compartilhando experiências.** Coleção: Perspectivas em Ensino de Ciências, v. 1, Curitiba: Editora CRV, 2020.
- ROTH, W. M.; BOWEN, G. M. Decalages in talk and gesture: visual and verbal semiotics of technology lectures. **Linguistics and Education**, v. 10, n. 3, p. 335-358, 1998.
- SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, 2002.
- SANTOS, Z. B.; PIMENTA, S. M. O. Da semiótica social à multimodalidade: a orquestração de significados. **CASA: Cadernos de Semiótica Aplicada**, v. 12, n. 2, p. 295-324, 2014.
- SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.
- SOUZA, S. J.; KRAMER, S. O debate Piaget/Vigotski e as políticas educacionais. **Cadernos de Pesquisa**, v. 77, p. 69-80, 1991.

TANG, K. S.; DELGADO, C.; MOJE, E. B. An integrative framework for the analysis of multiple and multimodal representations for meaning-making in science education. **Science Education**, v. 98, n. 2, p. 305-326, 2014.

TANG, K. S.; MOJE, E. B. Relating multimodal representations to the literacies of science. **Research in Science Education**, v. 40, n. 1, p. 81-85, 2010.

TEIXEIRA JÚNIOR, J. G.; SILVA, R. M. G. Perfil de leitores em um curso de Licenciatura em Química, **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1365-1368, abr. 2007.

TYTLER, R.; PRAIN, V. A framework for re-thinking learning in science from recent cognitive science perspectives. **International Journal of Science Education**, v. 32, n. 15, p. 2055-2078, 2010.

TYTLER, R.; PRAIN, V.; PETERSON, S. Representational issues in students learning about evaporation. **Research in Science Education**, v. 37, n. 3, p. 313-331, 2007.

TYTLER, R.; PRAIN, V.; HUBBER, P.; WALDRIP, B. (Ed.) **Constructing representations to learn in science**. The Netherlands: Springer Science & Business Media, 2013a.

TYTLER, R.; HUBBER, P.; PRAIN, V.; HASLAM, F. Reasoning in Science through representation. In: TYTLER, R.; PRAIN, V.; HUBBER, P.; WALDRIP, B. (Ed.) **Constructing representations to learn in science**. The Netherlands: Springer Science & Business Media, p. 83-107, 2013b.

VAN LEEUWEN, T. **Introducing Social Semiotics**. London: Routledge, 2005.

VAN ROOY, W. S.; CHAN, E. Multimodal Representations in Senior Biology Assessments: A Case Study of NSW Australia. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 15, n. 7, p. 1237-1256, 2017.

VIEIRA, C. F. A.; LIMA, L.; COUTINHO, M. M.; CAVALCANTE, F. S. A. Efeitos climáticos do metano na atmosfera. **Revista Tecnologia**, v. 29, n. 1, 2008.

VIGOTSKI, L. S. A construção do Pensamento e da Linguagem. Tradução: Paulo Bezerra (2ª ed.) Martins Fontes, 2009.

WALDRIP, B.; PRAIN, V.; CAROLAN, J. Using multi-modal representations to improve learning in junior secondary science. **Research in Science Education**, v. 40, n. 1, p. 65-80, 2010.

WHYTE, W. F. **Sociedade de esquina: a estrutura social de uma área urbana pobre e degradada**. Trad. Maria Lúcia de Oliveira. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2005.

WILLIAMS, M.; TANG, K. S.; WON, M. ELL's science meaning making in multimodal inquiry: a case-study in a Hong Kong bilingual school. **Asia-Pacific Science Education**, v. 5, n. 3, 2019.

WILSON, A. A. A Typology of Actional-Operational Modes in Earth Science and Implications for Science Literacy Instruction. **Science Education**, v. 97, n. 4, p. 524-549, 2013.

YEŞİLDAĞ HASANÇEBİ, F.; GÜNEL, M. College Students' Perceptions toward the Multi Modal Representations and Instruction of Representations in Learning Modern Physics. **Eurasian Journal of Educational Research (EJER)**, n. 53, p. 197-214, 2013.

YORE, L. D.; HAND, B. Epilogue: Plotting a research agenda for multiple representations, multiple modality, and multimodal representational competency. **Research in Science Education**, v. 40, n. 1, p. 93-101, 2010.

ZHANG, Y. Multimodal teacher input and science learning in a middle school sheltered classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 53, n. 1, p. 7-30, 2016.

ZOMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. As relações entre aprendizagem significativa e representações multimodais. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 3, p. 31-39, 2010.

ANEXOS

Anexo 01

Mapa de episódios – turma do nono ano: Geometria molecular e polaridade das moléculas

Código da Aula	Intervalo de tempo	Descrição	Observação
Aula 01 – Vídeo 01	1'15"-7'30"	A professora explicou o que é Geometria Molecular.	-
	7'30"-15'40"	A professora explicou a teoria de repulsão dos pares de elétrons da camada de valência. Alguns estudantes fizeram perguntas sobre o tema.	-
Aula 01 – Vídeo 02	0'-27'	A professora solicitou que os estudantes elaborassem representações da estrutura de Lewis, e em seguida a representação da geometria de algumas moléculas.	Gravador G1: 32' - 40' Elaboração das representações. Gravador G2: 40'Elaboração das representações.
Aula 02 – Vídeo 01	0'-14'	Os estudantes realizaram uma atividade com balões de festa para simular a geometria das moléculas que apresentam apenas pares de elétrons ligantes, trabalhadas na aula anterior (p. 10). Em seguida, reelaboraram suas representações.	Vídeo 01: 3'50" - 4'30" Restrição produtiva: os balões correspondem aos pares de elétrons compartilhados.
	14'30"-28'	Os estudantes socializaram as representações construídas.	Vídeo 01: 15'20"-19'40" A professora compartilhou a representação da geometria do H ₂ . Vídeo 01: 22'40"-27'30" G3 explicou a representação da geometria da molécula BeCl ₂ .
Aula 02 – Vídeo 02	0'-14'	Os estudantes socializaram as representações construídas.	Vídeo 02: 0-6'13" G4 explicou a representação para a geometria da molécula BF ₃ . Vídeo 02: 9'-13'40" G2 explicou a representação para a geometria da molécula CH ₂ O.
Aula 03 – Vídeo 01	0'-21'	Os estudantes socializaram as representações construídas.	Vídeo 01: 4'30"-16'20" G1 explicou a representação para a geometria da molécula CH ₄ .

	21'40''-30'	Os estudantes realizaram uma atividade com balões de festa para simular a geometria das moléculas que apresentam apenas pares de elétrons não ligantes, trabalhadas na aula anterior (p. 10). Em seguida, reelaboraram suas representações.	Vídeo 01: 21'40''-30' Pista representacional: os pares de elétrons não ligantes repelem os outros elétrons com mais intensidade.
Aula 03 – Vídeo 02	0'-14'	Os estudantes socializaram as representações construídas.	Vídeo 02: 7'20''-13'10'' G2 explicou a representação construída para a molécula NH ₃ .
Aula 04 – Vídeo 01	0'-10'	Os estudantes socializaram as representações construídas.	Vídeo 01: 6'40''-8' G1 explicou a representação construída para a molécula H ₂ O.
	10'-30'	A professora realizou a correção de exercícios de fixação, do material didático, sobre a representação de Lewis e geometria de moléculas (p. 12-13).	-
Aula 04 – Vídeo 02	0'-15'	A professora realizou a correção de exercícios de fixação, do material didático, sobre a representação de Lewis e geometria de moléculas (p. 12-13).	-
Aula 05 – Vídeo 01	0'-5'	A professora falou sobre o uso de simuladores e apresentou um simulador digital de geometria molecular.	-
	5'-26'	A professora apresentou as representações canônicas do conjunto de moléculas estudado em um simulador virtual.	-
	26'-30'	Os estudantes manusearam o simulador de geometria molecular.	-
Aula 05 – Vídeo 02	0'-15'	Os estudantes manusearam o simulador de geometria molecular.	-
Aula 06 – Vídeo 01	0'-30'	Os estudantes realizaram exercícios de fixação, do material didático, sobre a geometria de moléculas (p. 24-27)	-

Aula 06 – Vídeo 02	0'-10'	A professora corrigiu os exercícios.	-
Aula 07 – Vídeo 01	0'-22'	A professora retomou o conceito de polaridade de ligações e formas de representar esse conceito e, posteriormente, construiu com os estudantes o conceito de polaridade das moléculas e algumas possíveis representações. A professora solicitou que os estudantes construíssem representações de Lewis e traços para as moléculas H ₂ O e CH ₄ .	-
	22'-30'	Os estudantes socializaram as representações construídas.	Vídeo 01: 22'-27' Lucas apresentou a representação para a molécula H ₂ O. Vídeo 01: 27'-30' Júlia apresentou a representação para a molécula CH ₄ .
Aula 07 – Vídeo 02	0'-12'	A professora questionou os estudantes sobre a concentração de cargas nas duas moléculas analisadas.	Vídeo 02: 5'-50"-11'-15" Professora retomou a representação da polaridade da ligação.
	12'-15'	A professora explicou o experimento de atração eletrostática, utilizando uma régua eletrizada e pedaços pequenos de papel.	-
Aula 07 – Vídeo 03	0'-6'	Os estudantes realizaram o experimento de atração eletrostática.	-
	6'-27'	Os estudantes socializaram as percepções do experimento.	Vídeo 03: 7'-8' e 8'-30"-12' Estudantes construíram explicações para a atração da régua e dos papéis.
Aula 08 – Vídeo 01	0'-5'	A professora explicou o experimento de atração eletrostática utilizando uma régua atritada e um feixe de água fluindo de uma seringa e, posteriormente, um feixe de óleo mineral fluindo de uma seringa.	-

	5'40"-30'	Os estudantes realizaram o experimento e socializaram suas percepções sobre o fenômeno.	<p>Vídeo 01: 8'- 22' Paulo ilustrou o que ocorreu no experimento. Em seguida os estudantes explicaram o ocorrido.</p> <p>Vídeo 01: 22'-30' Teatralização para representar a polaridade da molécula de água e de metano.</p>
Aula 08 – Vídeo 02	0'-12'	A professora retomou a representação da polaridade de algumas moléculas para explicar o experimento realizado.	<p>Vídeo 02: 0'-2' Continuação da teatralização.</p>

Anexo 02

Mapa de episódios - turma de primeiro ano: Modelo cinético e molecular

Código da Aula	Intervalo de tempo	Descrição	Observação
Aula 01 – Câmera 01 – Vídeo 01	0'-40'	Professora retomou os triângulos que abordam os conhecimentos químicos e fez uma breve revisão do que foi trabalhado até o momento.	-
	40'-45'	Professora discutiu sobre o conceito de modelo na Ciência.	-
	45'-52'	Estudantes realizaram atividades do livro relacionadas a diferentes compostos e os respectivos estados físicos (p. 110).	-
Aula 01 – Câmera 01 – Vídeo 02	0'-53'	Estudantes realizaram atividades do livro relacionadas a diferentes compostos e os respectivos estados físicos (p. 110).	-
Aula 02 – Câmera 02 – Vídeo 01	0'-15'	Professora corrigiu as atividades da aula anterior e discutiu os critérios utilizados pelos estudantes para classificar os compostos em sólido, líquido e gasoso.	-
	15'-35'	Os estudantes realizaram os experimentos de compressão do ar contido em uma seringa (p. 110-111) e aquecimento do ar dentro de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado (p. 112-113) e construíram representações para os fenômenos observados.	Gravador 01: 24'20"-24'30" e 28'40"-29'30": Discussão no G2 durante a elaboração da representação do sistema de aquecimento do ar dentro de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado. Gravador 02: 18'10"-20": Discussão no G6 durante a elaboração da representação para o fenômeno de compressão do ar contido em uma seringa.
	35'-43'	Os estudantes socializaram e justificaram as representações construídas para o experimento	Câmera 02 – vídeo 01: 36'10" – 43'20": G5 explicou a

		de compressão do ar contido em uma seringa (p. 110-111).	representação que fizeram no quadro. Professora questionou a quantidade de partículas. Os estudantes afirmaram que sabiam que a quantidade de partículas antes e depois deveria ser a mesma, mas não pensaram nesse aspecto ao elaborar a representação. Professora questionou a densidade do sistema antes e depois do experimento.
Aula 02 – Câmera 02 – Vídeo 02	0'-23'	Os estudantes socializaram e justificaram as representações construídas para o experimento de aquecimento do ar dentro de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado (p. 112-113).	<p>Câmera 02 – vídeo 02: 1'- 3'10"': G4 explicou a representação construída para o fenômeno do aquecimento do ar dentro de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado. G2 questionou a organização das partículas no sistema.</p> <p>Câmera 02 – vídeo 02: 4'-10'': Professora perguntou aos estudantes o motivo de ser possível comprimir um gás e qual seria a forma de representar o movimento desse gás. Destaque para aluna Helena que argumentou sobre a convecção dos gases durante o aquecimento do erlenmeyer e a distribuição uniforme do gás no sistema.</p> <p>Câmera 02 – vídeo 02: 16'10" - 22'45"': Professora fez um fechamento para a discussão do experimento de aquecimento do ar dentro de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado.</p>
	23'-33'	Os estudantes planejaram uma teatralização para os dois fenômenos estudados.	-
Aula 03 – Câmera 01 – Vídeo 01	0'-8'	Os estudantes realizaram uma teatralização para o fenômeno de compressão do ar contido em uma seringa (p. 110-111).	-
	8'-10'	Os estudantes realizaram uma teatralização para o fenômeno de aquecimento do ar dentro de um erlenmeyer no qual um balão foi acoplado (p. 112-113).	-

	11'- 34'	Os estudantes propuseram uma representação para difusão de um gás.	Câmera 01 – vídeo 01: 27'16"-33'50": G6 explicou a representação construída. A professora questionou a representação de cada grupo.
	34'-37'	Os estudantes realizaram uma teatralização para o fenômeno da difusão do gás.	-
	37'-43'	Os estudantes propuseram uma representação para difusão de um gás.	Gravador 01: 39'20"-40'05": G2 discutiu uma explicação para difusão do gás.
	43'-51'	A professora explicou como calcular a quantidade de partículas em uma solução.	-
Aula 03 – Câmera 01 – Vídeo 02	0'-31'	A professora explicou como calcular a quantidade de partículas em uma solução.	-
Aula 04 – Câmera 01 – Vídeo 01	0'-4'	A professora explicou que o objetivo da aula era a construção de um modelo para os estados sólidos e líquidos.	-
	4' - 17'	Os estudantes realizaram o experimento de dilatação de um líquido no capilar de um termômetro (p. 116-117) e propuseram uma representação para o sistema em questão.	Gravador 01: 6'50"-10'15": G2 propôs uma explicação para expansão do líquido no termômetro. Gravador 02: 7'50"-10': G6 propôs uma explicação para expansão do líquido no termômetro. Vídeo câmera 02: 15'-17': Zoom das representações registradas no quadro.
	16'50" - 23'20"	Os estudantes socializaram e explicaram as representações construídas para o experimento de dilatação de um líquido no capilar de um termômetro.	Câmera 01 – vídeo 01: 16'50"-17'10" e 21'20"-22'50": G1 e G5 explicaram suas representações.
	23'20"-25'	Os estudantes realizaram uma teatralização para representar o experimento de dilatação de um líquido no capilar de um termômetro.	-

	25'-40'	Os estudantes propuseram uma representação para o estado sólido, líquido e gasoso (p. 117-118).	Gravador 02: 25'50''- 28' e 28'40''-28'50''; G6 propôs uma explicação para os três estados físicos. Gravador 03: 36'10''-37'; G4 propôs uma explicação para os três estados físicos. Vídeo câmera 02: 37'50''-39'; Zoom das representações registradas no quadro.
	40'- 45'	Os estudantes socializaram as representações construídas para os três estados físicos.	Câmera 01 – vídeo 01: 39'40''-43'15''; G4 explicou a representação dos três estados físicos e a professora comentou e questionou as representações de um modo geral.
	45'- 52'	Os estudantes realizaram exercícios sobre modelo cinético molecular (p. 133-135).	-
Aula 04 – Câmera 01 – Vídeo 02	0'-34'	Os estudantes realizaram exercícios sobre modelo cinético molecular (p. 133-135).	-
Aula 05 – Câmera 02 – Vídeo 01	0'-2'30''	A professora fez um fechamento com as principais características do modelo cinético molecular.	-
	2'30''-51'	A professora corrigiu os exercícios sobre modelo cinético molecular da aula anterior.	Câmera 02 – vídeo 01: 7'50''-8'50''; Os estudantes criaram representações para os três estados físicos. Câmera 02 – vídeo 01: 26'-28'20''; Os estudantes representaram as partículas de água no estado sólido e líquido.
Aula 05 – Câmera 02 – Vídeo 02	0'-30'	Os estudantes elaboraram representações de todos os fenômenos investigados nas aulas 01, 02, 03 e 04.	-
Aula 06 – Câmera 02 – Vídeo 01	0'-42'	Os estudantes realizaram os experimentos da prova prática em grupos.	-
Aula 06 – Câmera 02 – Vídeo 02	0'-18'	Os estudantes realizaram os experimentos da prova prática em grupos.	-
	18'-24'	Apresentação do experimento do Grupo 1: o submarino	Câmera 02 – vídeo 02: 18'-23'45''; Representação construída

			coerente com o fenômeno observado.
	28'-35'	Apresentação do experimento do Grupo 2: tubo em U	Câmera 02 – vídeo 02: 28'10"-35'10": Erros conceituais e representação desvinculada do fenômeno observado.
	36'-39'	Apresentação do experimento do Grupo 3: camada de líquidos	Câmera 02 – vídeo 02: 36'10"-39'30": Os estudantes não explicaram o experimento, apenas descreveram o que foi realizado.
	39'-46'	Apresentação do experimento do Grupo 4: gira-gira da naftalina	Câmera 02 – vídeo 02: 39'30"-46': Explicação do experimento ficou um pouco confusa.
	46'-49'	Apresentação do experimento do Grupo 5: plásticos apaixonados	Câmera 02 – vídeo 02: 46'20"-49': Cometeram alguns erros conceituais, mas explicaram bem. Não construíram representação no quadro.
	49'-51'	Apresentação do experimento do Grupo 6: camada de líquidos	-
Aula 06 – Câmera 02 – Vídeo 03	0'-4'	Apresentação do experimento do Grupo 6: camada de líquidos	Câmera 02 – vídeo 03: 0'-3'40": A explicação não foi muito boa. Mas as representações, sim.

Anexo 03

Mapa de episódios - turma de primeiro ano: Transformações químicas

Código da Aula	Intervalo de tempo	Descrição	Observação
Aula 01 – Câmera 01 – Vídeo 01	0-12'	Professora e estudantes organizaram o laboratório e separaram os materiais para realização dos experimentos.	-
	12'-52'	A professora explicou o que são evidências de uma reação química. Em seguida os estudantes realizaram alguns experimentos (p. 204-208): - Reação entre o ácido clorídrico e o zinco metálico; - A queima de uma fita de magnésio; - Reação entre soluções de hidróxido de sódio e sulfato de cobre (II); - Reação entre soluções de ácido clorídrico e hidróxido de sódio; - Reação entre soluções de ácido clorídrico e hidróxido de sódio na presença de fenolftaleína.	Para cada experimento realizado, os estudantes registraram no caderno as mudanças macroscópicas observadas no sistema.
Aula 01 – Câmera 01 – Vídeo 02	0'-27'	Continuação da realização dos experimentos.	-
Aula 02 – Câmera 01 – Vídeo 01	0'-52'	Os estudantes realizaram atividades relacionadas às evidências das transformações químicas (p. 209).	Discussões pontuais sobre as questões da atividade Áudio 01: 37'-40' Áudio 02: 40'-43'
Aula 02 – Câmera 01 – Vídeo 01	0'-47'	Os estudantes realizaram atividades relacionadas às evidências das transformações químicas (p. 209).	-
Aula 03 – Câmera 02 – Vídeo 01	0-27'	A professora corrigiu as atividades relacionadas às evidências de transformações químicas no experimento da queima da fita de magnésio.	Câmera 02 – Vídeo 01: 7'30"-10'30" Estudante representando a queima da fita de magnésio através da equação da reação química e de desenho no quadro. Andréa discute o tipo de representação. Câmera 02 – Vídeo 01: 17'-23'15" Professora propõe outra representação para a queima do magnésio.

	27'-37'20"	A professora corrigiu as atividades relacionadas às evidências de transformações químicas no experimento da reação entre a solução de ácido clorídrico e o zinco metálico.	-
	37'20"-46'40"	A professora corrigiu as atividades relacionadas às evidências de transformações químicas no experimento da reação entre a solução de hidróxido de sódio e de sulfato de cobre (II).	Câmera 02 – Vídeo 01: 46'-46'40" – Estudante pergunta como representar o calor envolvido em uma reação química.
	46'40"-52'29"	A professora corrigiu as atividades relacionadas às evidências de transformações químicas no experimento da reação entre a solução de ácido clorídrico e a solução de hidróxido de sódio na presença da fenolftaleína.	Câmera 02 – Vídeo 01: 51'-52'29" – Estudante representa no quadro a equação da reação química em questão.
Aula 03 – Câmera 02 – Vídeo 02	0-2'20"	A professora corrigiu as atividades relacionadas às evidências de transformações químicas no experimento da reação entre a solução de ácido clorídrico e a solução de hidróxido de sódio na presença da fenolftaleína.	0-2'20" – Estudante representa no quadro a equação da reação química em questão.
	2'20"-28'	A professora solicitou que os estudantes indicassem os produtos formados em algumas reações de neutralização.	Áudio 02: 59'-1h5' Estudantes discutem as reações em questão. Áudio 03: 1h- 1h13' Estudantes discutem as reações em questão.
	28'-40'	A professora solicitou que os estudantes indicassem os produtos formados em algumas reações de neutralização.	-
Aula 04 – Câmera 01 – Vídeo 01	0-52'	A professora solicitou que os estudantes indicassem um dos reagentes para algumas reações de oxidação.	Áudio 04: 21'15"- 30'; 33'-37'; 41'30"-44'; 58'-59' Áudio 02: 10'-13'
Aula 04 – Câmera 01 – Vídeo 02	0-17'	A professora solicitou que os estudantes indicassem um dos reagentes para algumas reações de oxidação.	

Aula 05 – Câmera 01 – Vídeo 01	0-7'	A professora retomou as discussões da aula anterior sobre evidências de transformações químicas.	Câmera 01 – Vídeo 01: 10'-10'30": Helena questionou com representar o estado físico em uma transformação química.
	7'-52'26"	Os estudantes realizaram alguns experimentos envolvendo a conservação de massa (p. 213-215): - Reação entre bicarbonato de sódio e ácido clorídrico em sistema aberto e fechado; Reação entre hidróxido de sódio e sulfato de cobre (II); A queima da lã de aço. A queima da fita de magnésio.	-
Aula 05 – Câmera 01 – Vídeo 02	0'-26'	Os estudantes realizaram alguns experimentos envolvendo a conservação de massa (p. 213-215): - Reação entre bicarbonato de sódio e ácido clorídrico em sistema aberto e fechado; Reação entre hidróxido de sódio e sulfato de cobre (II); A queima da lã de aço. A queima da fita de magnésio.	-
Aula 06 – Câmera 02 – Vídeo 01	0'-42'	Os estudantes realizaram atividades relacionadas à conservação de massa (p. 213-215).	-
	42'-52'	A professora corrigiu as atividades relacionadas à conservação de massa.	Câmera 02 – Vídeo 01: 45'-52' Início de uma discussão sobre reações em um sistema aberto e fechado e a conservação de massa.
Aula 06 – Câmera 02 – Vídeo 02	0-12'	A professora corrigiu as atividades relacionadas à conservação de massa.	Câmera 02 – Vídeo 02: 0-12' Continuação da discussão sobre reações em um sistema aberto e fechado e a conservação de massa.
	12'-18'	Realização de uma leitura compartilhada e comentada entre professora e estudantes de	-

		textos sobre conservação de massa (p. 218-221).	
Aula 07 – Câmera 02 – Vídeo 01	0'-54'	Os estudantes realizaram atividades relacionadas às transformações químicas (p. 223-227).	-
Aula 07 – Câmera 02 – Vídeo 02	0'37'	Os estudantes realizaram atividades relacionadas às transformações químicas (p. 223-227).	-
Aula 08 – Câmera 02 – Vídeo 01	0-52'	A professora corrigiu as atividades relacionadas às transformações químicas.	-
Aula 08 – Câmera 02 – Vídeo 02	0-32'	A professora corrigiu as atividades relacionadas às transformações químicas.	-