



TRANSIÇÃO PROGRESSIVA DOS MODELOS EXPLICATIVOS DE ESTUDANTES DO NÍVEL MÉDIO SOBRE A NATUREZA DAS FORÇAS INTERMOLECULARES

Progressive transition of explanatory models of middle-level students on the nature of intermolecular forces

Ana Carolina Gomes Miranda [ana.miranda@ufop.edu.br]

*Departamento de Química
Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP
Rua quatro, 786, Ouro Preto, Minas Gerais, MG, Brasil*

Maurícius Selvero Pazinato [mauriciuspazinato@gmail.com]

*Departamento de Química orgânica
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio grande do Sul, RS, Brasil*

Mara Elisa Fortes Braibante [maraefb@gmail.com]

*Departamento de Química
Universidade Federal de Santa Maria
Avenida Roraima, 1000, Santa Maria, Rio grande do Sul, RS, Brasil*

Resumo

O foco de investigação desta pesquisa foi o processo de ensino e aprendizagem de forças intermoleculares no nível médio. O principal objetivo foi investigar a evolução conceitual, por meio de modelos explicativos de estudantes da 1ª série do ensino médio, sobre a natureza das forças intermoleculares. Para isso o conteúdo foi desenvolvido por intermédio de uma sequência didática (SD). Baseando-se na perspectiva de Lakatos, procurou-se verificar se os modelos explicativos dos sujeitos formam sequências de transição progressiva, similares ao que Lakatos, na História da Ciência, se refere a "problemática" que aumenta o poder explanatório/heurístico do modelo. A evolução dos modelos, que geralmente consiste em transições progressivas, está relacionada ao entendimento sobre o conteúdo de forças intermoleculares e a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria em relação ao entendimento sobre a natureza das forças intermoleculares. O acompanhamento das ideias dos estudantes ao longo do estudo do conteúdo revelou que houve um número significativo deles que conseguiu progredir conceitualmente. De forma geral, é possível afirmar que as atividades desenvolvidas na SD contribuíram significativamente para a transição progressiva dos modelos explicativas da maioria dos participantes. Além disso, a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares na SD desenvolvida capacitou os estudantes a interpretarem os fenômenos em estudo, por meio dos níveis de representação da matéria.

Palavras-Chave: Forças intermoleculares; transição progressiva; ensino de Química.

Abstract

The investigation focus of this research was the teaching and learning process of intermolecular forces at the high school level. The main objective was to investigate the conceptual evolution, through explanatory models of 1st grade high school students, on the nature of intermolecular forces. For this, the content was developed through a didactic sequence (SD). Based on Lakatos' perspective, we tried to verify if the explanatory models of the subjects form sequences of progressive transition, similar to what Lakatos, in the History of Science, refers to as the "problem" that increases the explanatory/heuristic power of the model. The evolution of models, which generally consists of progressive transitions, is related to the understanding of the content of intermolecular forces and the ability to move between the levels of representation of matter in relation to the understanding of the nature of intermolecular forces. The follow-up of students' ideas throughout the study of the content revealed that there was a significant number of them who managed to progress conceptually. In general, it is possible to affirm that the activities developed in the DS contributed significantly to the progressive transition of the explanatory models of the majority of the participants. In

addition, the approach to the content of intermolecular forces in the developed SD enabled students to interpret the phenomena under study, through the levels of representation of matter.

Keywords: Intermolecular forces; progressive transition; teaching of chemistry.

INTRODUÇÃO

Os três pilares da Química que sustentam a explicação da natureza íntima da matéria e suas transformações são: estrutura atômica, ligações químicas e forças intermoleculares. Para compreender fatos e acontecimentos do dia a dia, sob a óptica da ciência, é necessário entender os conceitos relacionados aos átomos e suas formas de interação (Pazinato, Bernardi, Miranda & Braibante, 2021).

O conteúdo de interações intermoleculares apresenta-se como ponto chave para a compreensão das propriedades dos materiais, tais como: temperatura de fusão e ebulição, solubilidade, densidade e viscosidade, além de permear diversos campos do conhecimento alicerçados ao entendimento de fenômenos do dia a dia. Além disso, de acordo com os documentos oficiais da educação brasileira, o estudante do nível médio deve: compreender as propriedades das substâncias e dos materiais em função das interações entre átomos, moléculas ou íons; compreender os conceitos de temperatura de ebulição e fusão e suas relações com a natureza das substâncias; compreender o conceito de densidade e solubilidade e a sua dependência com a temperatura e com a natureza do material e reconhecer que as aplicações tecnológicas das substâncias e materiais estão relacionadas às suas propriedades (MEC, 1998). Além das orientações curriculares para o ensino médio, mais recentemente a Base Nacional Comum Curricular (MEC, 2018) ressalta que o estudante precisa desenvolver competências e habilidades relacionadas ao tópico em questão. Dentre elas, destaca-se: utilizar códigos e nomenclaturas da Química para caracterizar materiais, substâncias ou transformações químicas; entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos; e relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

A compreensão de conceitos que exigem um complexo nível de abstração implica no estabelecimento de relações entre os diferentes níveis de representação da matéria: macroscópico, submicroscópico e simbólico. Neste contexto, Johnstone (1982) foi um dos primeiros autores que propôs um modelo para explicar as dimensões do conhecimento químico. Ao longo dos anos, essas representações passaram por modificações, sendo reorganizadas e, atualmente, são definidas pelos níveis:

- Macroscópico/tangível: parte “observável” por meio dos sentidos e mensurável da Química que pode ser descrita por meio de suas propriedades: cor, odor, densidade, efervescência, etc.;
- Submicroscópico/Molecular/invisível: se refere a como os fenômenos e propriedades observados no primeiro nível são explicados pela Ciência, utilizando conceitos abstratos, tais como: átomos, íons, moléculas, ligações químicas, interação intermolecular de modo a fornecer um modelo para se racionalizar e entender esses fenômenos;
- Simbólico/matemático: forma utilizada pelos químicos para representar as substâncias e transformações por meio de símbolos e equações convencionados pela comunidade científica (Johnstone, 2009).

A utilização desses níveis no ensino de Química é inerente ao processo de aprendizagem e as relações entre o macroscópico, submicroscópico e simbólico são essenciais para que o estudante tenha embasamento teórico para interpretar a natureza e seus fenômenos, bem como para a compreensão do processo de construção da Ciência. Alguns estudos (Torres, Landau, Baumgartney, & Monteserin, 2010) revelam que muitos estudantes possuem dificuldades em transitar entre esses três níveis, principalmente se os conceitos envolvidos são abstratos, como é o caso das forças intermoleculares.

Algumas pesquisas (Santos, Almeida, & Filho, 2020; Cooper, Williams, & Underwood, 2015) apontam indícios que o ensino e aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares no ensino médio não têm ocorrido de maneira eficiente. Inclusive, afirmam que o tópico possui potencial gerador de concepções alternativas aos modelos científicos por partes dos estudantes. Em outro estudo (Miranda, Pazinato, & Braibante, 2018) foi realizada uma pesquisa bibliográfica em periódicos nacionais e internacionais com o intuito de detectar as principais tendências do ensino e aprendizagem em forças intermoleculares. Os autores identificaram lacunas nos processos de aprendizagem, dentre elas é possível

destacar as concepções alternativas mais recorrentes: não há diferenças significativas entre as forças intermoleculares e as ligações químicas; as forças intermoleculares são mais fortes que as ligações intramoleculares; existe ligação hidrogênio em todas as moléculas que possuem hidrogênio e a força dessa interação é medida pela quantidade de hidrogênios que a molécula possui, por exemplo, as interações entre as moléculas do CH₄ são mais intensas do que as do NH₃. Essas evidências nos motivaram a elaborar uma Sequência Didática (SD) na tentativa de promover uma aprendizagem mais coerente no ensino médio, ou seja, próxima aos modelos científicos aceitos atualmente.

A partir disso, procuraram-se fundamentos teóricos que pudessem auxiliar na interpretação da evolução conceitual neste tópico por parte de estudantes do nível médio. Dentro desta perspectiva, a relação entre a epistemologia da ciência e a evolução do conhecimento no contexto escolar tem sido reconhecida por filósofos da ciência, psicólogos, pesquisadores e educadores (Carey, 1985; Gil-Pérez, 1993; Duschl, & Gitomer, 1994; Niaz, 1998; Laburú & Niaz, 2002; Martorano, 2012). Acredita-se que a teoria de Lakatos, em relação ao progresso da ciência, possa fornecer uma ferramenta capaz de investigar a evolução conceitual por parte dos sujeitos investigados.

Segundo Niaz (1998), a epistemologia da Ciência baseada nos pressupostos de Imre Lakatos possui implicações didático-pedagógicas que podem trazer importantes benefícios ao processo de ensino e aprendizagem. Para Lakatos, o progresso da ciência retrata o que ele define como uma metodologia dos Programas de Investigação Científica (PIC). Um PIC é constituído por várias teorias que progressivamente evoluem, sendo que o processo de desenvolvimento da ciência se caracteriza pela competição entre Programas de Investigação rivais. Os PIC se caracterizam por regras metodológicas: “*algumas nos dizem quais são os caminhos de pesquisa que devem ser evitados (heurística negativa), outras nos dizem quais são os caminhos que devem ser palmilhados (heurística positiva)*” (Lakatos, 1971, p. 162).

De forma análoga, essa perspectiva no ensino de Química pode ser utilizada para investigar se os modelos explicativos de estudantes do ensino médio formam sequências de transição progressiva (Niaz, 2001), similares ao que Lakatos, no que se refere ao progresso da ciência, faz referência à “problemática” que aumenta o poder explanatório/heurístico de um determinado modelo ou teoria.

É importante ressaltar que além da utilização do referencial teórico lakatosiano, é possível encontrar na literatura do ensino de Ciências, várias pesquisas que estabelecem analogias ou similaridades com outros referenciais epistemológicos, como por exemplo, Thomas Kuhn (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982), Stephen Toulmin (Stipcich, & Toledo, 2001), Paul Feyerabend (Laburú, & Carvalho, 2005), entre outras. Essas propostas apresentam como ponto comum o embasamento nos pressupostos construtivistas, o que implica a irrefutável afirmação de que as concepções dos estudantes possuem influência significativa no processo de ensino e aprendizagem.

Desta forma, a intenção, nesta pesquisa, baseada no referencial lakatosiano, consiste em utilizá-lo como ferramenta para acompanhar a construção/evolução do conhecimento científico referente ao tópico de forças intermoleculares, por parte de estudantes do ensino médio. Dentro deste contexto, a questão que guiou a presente pesquisa foi: **“Como avaliar os modelos explicativos de estudantes de nível médio sobre a natureza das forças intermoleculares, a partir da relação entre a teoria lakatosiana e os níveis de representação do conhecimento químico?”**

A partir destas considerações, o principal objetivo desta pesquisa é investigar como os modelos explicativos de estudantes de nível médio sobre forças intermoleculares formam sequências de transição progressiva, a partir do desenvolvimento de uma sequência didática.

EPISTEMOLOGIA DE IMRE LAKATOS E O ENSINO DE CIÊNCIAS

A epistemologia de Imre Lakatos

A epistemologia de Imre Lakatos (1922-1974) se evidenciou como uma das mais importantes reflexões da cultura científica do século XX, interrompida prematuramente com sua morte em 1974. Na década de 60, Lakatos saiu da Hungria por motivos políticos e entrou em contato com a filosofia de Karl Popper:

Minha dívida pessoal com ele é imensa: mudou minha vida mais que nenhuma outra pessoa (...). Sua filosofia me ajudou a romper, de forma definitiva, com a perspectiva hegeliana que eu havia retido durante quase vinte anos, e, o que é ainda mais importante, me forneceu um conjunto muito fértil de problemas, um autêntico programa de pesquisa (Lakatos, 1989, p.180).

Segundo Lakatos, a melhor maneira de começar [o jogo da ciência] “não é com uma hipótese falseável, mas com um programa de investigação” (LaKatos, 1971, p.111). A “Metodologia dos Programas de Investigação Científica” consiste basicamente em um núcleo duro, cinturão protetor e heurísticas, as quais fornecem orientação para a pesquisa futura de uma forma tanto positiva quanto negativa. A heurística negativa são regras que guiam as direções que a pesquisa precisa evitar. Desta forma, é uma metodologia que não permite o ataque direto ao núcleo do programa de investigação. Já a heurística positiva são as regras que a pesquisa precisa seguir, é composta por uma pauta geral que indica como pode ser desenvolvido o PIC. Lakatos (1971) afirma que a heurística positiva apresenta um programa imerso em uma cadeia de modelos explicativos, ou seja, um conjunto de condições iniciais, as quais poderão ser substituídas à medida que se eleva a complexidade dos fenômenos estudados. Este desenvolvimento de modelos leva a uma progressão de teorias cada vez mais aperfeiçoadas (Mion & Angotti, 2005).

O núcleo duro de um programa é a hipótese teórica geral que constitui a base da qual o ele deve se desenvolver, reunindo os pressupostos básicos, essenciais e fundamentais para a sua existência. O abandono desse núcleo duro é o que causa a mudança de programa. Por exemplo, o núcleo duro da astronomia Copernicana seria a suposição de que a terra e o planeta orbitam um sol estacionário e que a terra gira em seu eixo uma vez por dia. Ou o núcleo duro na física Newtoniana é composto por leis do movimento de Newton e a sua lei da atração gravitacional.

O Cinturão protetor são as hipóteses auxiliares que protegem o núcleo duro. Segundo Lakatos (1998), é esse cinto de proteção de hipóteses auxiliares que tem que suportar o impacto dos testes e ir se ajustando e reajustando, ou mesmo ser completamente substituído, para defender o núcleo assim fortalecido. Para exemplificar, o Quadro 1 apresenta as componentes do PIC para os atuais conceitos de forças intermoleculares.

Quadro 1 - Programa de Investigação científica atual para forças intermoleculares.

Componente	Definição	Programa de investigação para Forças Intermoleculares
<i>Núcleo Duro</i>	Modelo que explica a Interação das forças intermoleculares.	Modelo quântico e Interações eletrostáticas em que uma espécie é atraída por outra ou vice-versa por atrações e repulsões.
<i>Cinturão Protetor</i>	Atributos (hipóteses auxiliares) que justificam a existência das forças intermoleculares.	Polaridade das moléculas e propriedades físicas dos materiais, por exemplo, solubilidade e ponto de ebulição das substâncias.
<i>Heurística positiva</i>	Questões que orientam o desenvolvimento do programa	- De que maneira o modelo quântico com potenciais eletrostáticos explica a natureza das forças intermoleculares? - Como as forças intermoleculares explicam as diferenças na polaridade, solubilidade e ponto de ebulição das substâncias?

É importante ressaltar que o Quadro 1 apresenta um PIC atual, ou seja, são conceitos aceitos pela comunidade científica contemporânea, pois conforme Lakatos argumenta, um programa de investigação científica (teoria) pode ser progressivo, quando aumentar o poder explanatório/heurístico do programa, caso contrário, será degenerativo, podendo ser substituído por outro com maior poder explicativo. Por exemplo, na década de 20, o núcleo duro do PIC de Forças intermoleculares, segundo o modelo proposto por Linus Pauling (1928), era centrado na polaridade e ionização do ponto de vista da Teoria de Valência. Desta forma, a eletroafinidade era utilizada para explicar algumas propriedades apresentadas por certas substâncias, como a solubilidade de sais e a formação de complexos em soluções.

Ainda na década de 20, segundo modelo proposto por Lewis (1928), o núcleo duro da teoria supracitada foi substituído pela explicação relacionada ao núcleo do hidrogênio preso entre dois dubletes para formar uma ligação fraca. Naquela época, ainda não se discutia orbital, pois a teoria quântica ainda estava sendo desenvolvida. Além disso, Lewis, que já conhecia a Teoria de Ligação de Valência, afirmou que o hidrogênio (possui apenas um orbital disponível), era incapaz de formar mais que uma ligação covalente pura, o que implicaria que outras interações também seriam de natureza eletrostática.

Já em 1936, Huggins (1936) estabeleceu que o núcleo duro do PIC sobre forças intermoleculares era composto por explicações que relacionavam a fatores como forças de van der Waals, polaridade e efeito estérico para explicar as propriedades das substâncias. Além disso, inseriu na comunidade científica o conceito de “Pontes de Hidrogênio¹”, afirmando que a existência dessas pontes seria suficiente para justificar determinadas características dos compostos orgânicos.

No entanto, ao longo de extensivos estudos que culminaram com o desenvolvimento do modelo mecânico-quântico, foi observado que várias características das interações que os compostos estabelecem entre si, não iam ao encontro de explicações relacionadas à proposta de um modelo puramente eletrostático. Desta forma, conforme observado, ao longo dos anos as teorias foram progressivamente aumentando o poder heurístico de seus modelos. Hoje, ainda em constante transformação, a teoria aceita cientificamente até o momento está relacionada com explicações que utilizam o modelo quântico com potenciais eletrostáticos (Terrabuio, 2013).

Dentro deste contexto, a competição entre diferentes programas é responsável em desenvolver ou evoluir o quadro teórico da explicação científica. O Programa progressivo é aceito pela comunidade científica, enquanto o programa degenerativo cairá em desuso, devido à incapacidade demonstrada em explicar novos fatos, em erguer uma teoria coerente. A avaliação é desenvolvida por meio da comparação ou competição entre programas. Segundo Lakatos (1971), se PIC_2 [P= Programa de Investigação Científica] progride é devido ao fato da lentidão do progresso de P_1 , já que P_2 antecipará alguns fatos novos mais rapidamente que PIC_1 . O fato é que PIC_1 sem PIC_2 poderia ser progressivo, entretanto, a competição com P_2 , o coloca em degeneração (Lakatos, 1971).

Dentro deste contexto, na perspectiva de um PIC, uma teoria é melhor se apresentar conteúdo empírico excedente ou se tiver maior poder heurístico (explanatório). Por exemplo, uma teoria sintática X será melhor que uma teoria sintática Y, ambas pertencendo ao mesmo programa de investigação, se X explicar e correlacionar mais fatos que Y. Desta forma, o verdadeiro teste da progressão de uma teoria está em sua capacidade de prever fatos novos, bem como de aumentar o poder heurístico do modelo.

Contribuições da Epistemologia de Imre Lakatos para o ensino de Ciências

Com o objetivo de contribuir com propostas pedagógicas para o Ensino de Ciências que promovam a aprendizagem conceitual, diversas pesquisas se fundamentam na epistemologia de Imre Lakatos.

Silva, Nardi e Laburú (2008) estruturaram uma proposta para o ensino de Física que inclui a Reconstrução Racional Didática (RRD) com visão filosófica implícita baseada na concepção epistemológica e reconstrução racional de Lakatos. Os autores afirmam que a inclusão da RRD no processo de ensino e aprendizagem tem o objetivo de exemplificar situações racionais de comparação de teorias rivais e, com isso, preparar o estudante para posteriores debates entre concepções rivais, como por exemplo, concepções alternativas *versus* concepções científicas, de modo a favorecer o aprendizado. Na pesquisa em questão é fornecido um exemplo de aplicação da estratégia de RRD voltada para o ensino dos conceitos de calor e temperatura no ensino médio, conforme pode ser observado no fragmento:

Primeiramente, é necessário escolher pelo menos dois programas de pesquisa rivais da história da física, por exemplo, a teoria do calórico e a teoria cinético-molecular da matéria. A partir daí, o professor deve apresentar os modelos e explorar seus postulados básicos, apresentando-os como invioláveis, cuja filosofia implícita entende como concepções centrais, núcleos de programas de pesquisa por analogia com a heurística negativa. Seguindo o passo 2, o professor deve escolher fenômenos que ambas teorias explicam sem contradizer seus postulados. Posteriormente, o professor poderá “abusar” de sua criatividade para ilustrar de forma racional (por inspiração no falseamento lakatosiano) como o programa de pesquisa cinético-molecular tornou-se progressivo diante de seu rival, então, degenerativo, por analogia ao sinal típico de degeneração de um programa que se comentou em seções anteriores. Nessa ocasião, contrariamente ao que se fez no passo 2, deve-se discutir fenômenos em que as interpretações enfraquecem os postulados da teoria calórica, enquanto fortalecem os da rival cinético-molecular. Nesse sentido, o professor pode ser auxiliado por uma RRD elaborada para auxiliar o entendimento de seus alunos em relação à racionalidade que direciona a tomada de decisão para escolher a teoria vencedora. Dessa maneira, quando em passos posteriores da estratégia confrontar as concepções alternativas dos alunos com as científicas, então vencedoras na RRD, ficará mais fácil “energizar” a racionalidade para auxiliar o aprendizado racional (Silva, Nardi, & Laburú, 2008, p. 185).

Laburú e Niaz (2002) analisaram as interações (conflitos, controvérsias e argumentos) dos alunos ao participarem de uma atividade didática elaborada com o objetivo de facilitar a compreensão em energia térmica e temperatura. Esta pesquisa foi aplicada a 32 alunos do nono ano de uma escola pública

¹ De acordo com a IUPAC o termo atual é ligação hidrogênio.

localizada em Londrina, PR. Os resultados obtidos revelaram que a diferenciação entre energia térmica e temperatura constitui uma dificuldade considerável para os alunos e pode ser apontada como parte do "núcleo duro" de seu entendimento. As concepções dos estudantes foram classificadas em modelo alternativo, modelo de transição e modelo científico, dependendo do grau em que elas refletiam uma transição gradual em seu "núcleo duro". Os autores afirmam que alguns estudantes foram capazes de questionar o "núcleo duro" de suas crenças e construir um modelo transitório. Alguns experimentaram uma nova transição progressiva através da construção de um modelo científico, com base no entendimento de que "Temperatura só mede a energia de agitação". Ainda, os autores ressaltam que a metodologia utilizada forneceu um vislumbre de como um aluno, em particular, resolve conflitos, a fim de facilitar a transição progressiva sobre a compreensão dos conceitos estudados. Os autores concluem que, dada a oportunidade de discutir, refletir, considerar situações alternativas e conflitantes, os alunos puderam construir modelos que aumentaram progressivamente seu poder explicativo/heurístico.

Niaz (1998) também desenvolveu uma pesquisa com referência a uma estratégia de ensino baseada em analogias relacionadas com a epistemologia de Lakatos. Segundo o autor, o objetivo principal dessa pesquisa foi construir uma estratégia de ensino lakatosiana que pudesse favorecer a evolução conceitual de estudantes no tópico equilíbrio químico. Para isso, teve como ponto de partida o levantamento das concepções alternativas dos estudantes, as quais foram consideradas como programas de pesquisa. Esta comparação permite que as concepções ou "programas" tornem-se candidatas à mudança, uma vez que a complexidade cognitiva das convicções dos estudantes, ou seja, seu "núcleo duro" pode ser substituído por uma série de questionamentos. O autor afirma que a evolução conceitual por parte dos estudantes pode ser facilitada quando se consegue distinguir as suas concepções nucleares (aquelas mais resistentes às mudanças), de outras explicações. Desta forma, isso implica considerar que as concepções alternativas dos estudantes não são erradas, mas sim modelos similares aos utilizados pelos cientistas para simplificar a complexidade de um fenômeno. Ou seja, *"as concepções devem ser consideradas como "teorias" que competem com as teorias científicas e, às vezes, recapitulam teorias científicas do passado"* (Niaz, 1998, p.122).

Além disso, Niaz (1998) menciona que sua proposta didático-pedagógica possui outras similaridades com a epistemologia de Imre Lakatos. A realização de um paralelo entre as teorias científicas utilizadas pelos cientistas e a construção de modelos pelos estudantes referentes às compreensões conceituais. A similaridade encontra-se na interpretação do desempenho dos estudantes ao resolverem problemas de um determinado conceito, como um processo de transições progressivas de modelos explicativos que admitem distintos graus de poder heurístico para esses modelos, ou simplesmente, de seus entendimentos conceituais. Desta forma, similar ao que Lakatos (1970) denomina de reconstruções racionais de Programas de Investigações Científicas, Niaz (1995) institui uma reconstrução racional da evolução do conhecimento de estudantes, por meio de transições progressivas de modelos.

Neste contexto, é necessário ressaltar que o processo de ensino estruturado a partir de detalhes específicos da epistemologia de Lakatos limita-se a uma analogia que precisa ser mais bem discutida. É impossível afirmar uma transferência automática da epistemologia dos programas de pesquisa das ciências empíricas para a dinâmica do pensamento dos alunos em ambiente escolares, pois este é um ambiente totalmente diferente do científico.

METODOLOGIA

Esse trabalho segue princípios da pesquisa mista e teve como sujeitos 29 estudantes da 1ª série do ensino médio de um Instituto Federal do estado do Rio Grande do Sul. Os dados foram coletados por meio de questionários aplicados antes, durante e após o desenvolvimento de uma sequência didática (SD) sobre o conteúdo de forças intermoleculares. A SD foi organizada com base nos pressupostos teóricos recomendados por Zabala (1998) e na adaptação dos critérios estruturantes propostos por Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004) e Guimarães e Giordan (2011).

Segundo Guimarães e Giordan (2011), as SD são atividades com nível progressivo de complexidade cognitiva em termos das abordagens que os estudantes devem desenvolver para resolver determinados problemas. Para Zabala (1998), as SD são um conjunto de atividades ordenadas e articuladas para atingir os objetivos educacionais. Além disso, o autor afirma que a utilização dessa estratégia é uma ferramenta importante para investigar, refletir e melhorar a prática docente, uma vez que expressa diferentes elementos da ação dos professores, tais como: decisões referentes à seleção e organização dos conteúdos, recursos, espaços, tempo e métodos de avaliação do processo de aprendizagem.

Em relação aos conceitos relacionados ao conteúdo de forças intermoleculares, optou-se por desenvolver os tópicos essenciais para a compreensão da natureza dessas interações, bem como sua influência nas propriedades físicas dos materiais. A SD foi elaborada em três unidades didáticas (UD):

- UD Natureza das forças intermoleculares: foi desenvolvida em 6h/aulas com o intuito de promover a compreensão da natureza eletrostática das interações intermoleculares;
- UD Força de London e dipolo-dipolo: esta unidade didática teve duração de três aulas, totalizando seis horas/aula, cujo principal objetivo foi compreender a natureza eletrostática da interação dipolo-dipolo, em virtude da distribuição de cargas elétricas e formação de dipolos elétricos.
- UD Ligação hidrogênio: foi desenvolvida em 6h/aulas com o objetivo de compreender em nível atômico-molecular a natureza eletrostática da ligação hidrogênio.

Ao total foram necessárias seis semanas de aplicação, totalizando um mês e meio de efetivo desenvolvimento de todas as atividades. Entretanto, o enfoque deste trabalho será na descrição e análise da unidade introdutória da SD, que versa sobre aspectos fundamentais para a compreensão da Natureza das forças intermoleculares no ensino médio (Figura 1).

Problema inicial		
<p>Em nosso planeta, a água encontra-se nos estados sólido, líquido e gasoso. A água doce disponível (no máximo 0,3% de toda a água do planeta) já teria sido totalmente consumida se não fosse o ciclo hidrológico, que envolve, sob a ação da energia solar, o movimento contínuo das águas, distribuindo-as em diferentes regiões do planeta: estado sólido nas geleiras e calotas polares;</p> <p>estado líquido nos oceanos, mares, rios, lençóis freáticos etc.; estado gasoso (vapor-d'água) na atmosfera. Esse movimento se dá por meio de transformações, algumas envolvendo mudanças de fase – como a evaporação, a transpiração e a condensação – que culminam com a precipitação da água, na forma de chuva, e sua infiltração nas camadas subterrâneas do solo. Esses processos estão representados a seguir:</p> <div style="text-align: center;"> $\begin{array}{ccc} \text{H}_2\text{O(s)} & \xrightleftharpoons[+ \text{energia}]{- \text{energia}} & \text{H}_2\text{O(l)} & \xrightleftharpoons[+ \text{energia}]{- \text{energia}} & \text{H}_2\text{O(g)} \end{array}$ </div> <p><small>Elaborado por Maria Eunice Ribeiro Marcondes e Yvone Mussa Esperidião especialmente para o São Paulo faz escola.</small></p>		<p>Primeiramente, represente, por meio de desenhos, o ciclo hidrológico da água, caracterizando todas as transformações citadas no texto.</p> <p>Sabe-se que a água quimicamente pura, apresenta-se nos estados sólido, líquido ou gasoso, é constituída unicamente de partículas de H₂O. Como explicar, em nível atômico-molecular, o que ocorre para que a água possa existir nesses três estados físicos? Proponha um modelo que explique este comportamento.</p>
Objetivos gerais	Objetivos específicos	Atividades desenvolvidas
<ul style="list-style-type: none"> - Compreender a natureza eletrostática das interações intermoleculares, bem como seus aspectos energéticos; - diferenciar interações intermoleculares de interatômicas. - Compreender as propriedades das substâncias moleculares, por meio do estudo de diferentes interações entre as moléculas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar aos estudantes a compreensão que uma interação química significa que as moléculas se atraem ou se repelem entre si, sem que ocorra a quebra ou a formação de novas ligações químicas; - relacionar propriedades de temperaturas de fusão e de ebulição, solubilidade e estruturas para explicar submicroscopicamente os diferentes comportamentos das substâncias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação das concepções prévias dos estudantes, por meio da aplicação de questionários e situações problema; - Atividade experimental; - Pesquisa em artigos e livros didáticos; - Elaboração de modelos que expressam a compreensão sobre as diferenças entre as ligações químicas e as forças intermoleculares; - Discussão e debate sobre o problema inicial e as atividades desenvolvidas;

Figura 1 - Problema inicial, objetivos e atividade Unidade didática 1.

Conforme mencionado, a unidade didática 1 foi desenvolvida em três aulas, com duração de duas horas cada. A primeira aula iniciou com a aplicação de um questionário que teve como propósito levantar as concepções dos estudantes sobre a natureza das forças intermoleculares, diferenças entre as ligações químicas e as interações intermoleculares, influência dessas nas propriedades físicas da matéria, polaridade e solubilidade. Posteriormente, foi discutido com a turma o problema inicial e solicitado aos estudantes que escrevessem suas ideias e hipóteses sobre a problemática inicial. Essa atividade proporcionou a percepção da existência de interações entre as moléculas, não especificando em termos de forças intermoleculares, mas favoreceu a compreensão de que além das interações entre os átomos de hidrogênio e oxigênio na molécula de H₂O, conforme já estudado no tópico de ligações químicas, existiam também interações entre as moléculas de H₂O que são responsáveis pelo seu estado físico. Desta forma, além de diferenciar as interações intermoleculares e intramoleculares, introduziu-se o conceito de energia, relacionando-a com as interações. Após as discussões, os estudantes foram orientados a repensar sobre o modelo elaborado e reformulá-los, se necessário. Neste momento, eles apontaram as diferenças entre as interações entre as moléculas e as ligações químicas.

Na segunda aula foi desenvolvida a atividade experimental investigativa: “Forças intermoleculares e a sua relação com a polaridade e solubilidade”. O objetivo deste experimento foi viabilizar a construção do conhecimento sobre a natureza eletrostática das forças intermoleculares e que a solubilidade é um fenômeno regido por interações entre a molécula do soluto e as moléculas do solvente.

Na terceira aula, realizaram-se discussões e a sistematização dos principais conceitos abordados, foram propostas atividades que estão relacionadas com a influência da natureza das forças intermoleculares nas propriedades das substâncias. Neste momento, abordaram-se os conceitos relacionados à natureza dessas interações, tais como: dipolo elétrico permanente; dipolo elétrico induzido; átomos com diferença significativa de eletronegatividade, momento dipolar e a forma como estes átomos estão arrançados espacialmente. A turma foi organizada em grupos, que receberam um texto base sobre os conceitos referentes à natureza das forças intermoleculares e tiveram que discutir e elaborar uma síntese, a qual foi apresentada para toda a turma. Após a sistematização dos conceitos, foi solicitado aos estudantes que desenvolvessem uma atividade de pesquisa e modelagem, para a qual foram disponibilizados os seguintes materiais: bolas de isopor, palitos de dente, massa de modelar, lápis de cor, entre outros.

A SD prosseguiu com as três unidades seguintes, tendo duração de seis aulas cada. Na última aula foi aplicado um questionário final envolvendo todos os assuntos abordados na SD. A análise dos dados ocorreu antes, durante e após a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares em sala de aula. Inicialmente as respostas foram lidas, transcritas em planilhas e agrupadas em categorias. Esse processo foi feito nas três fases da pesquisa. Ressalta-se que os instrumentos de coleta de dados foram aplicados antes, durante e após o desenvolvimento da referida UD e serviram de suporte para análise das sequências de transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes.

Método de análise

A análise dos dados para avaliar a evolução conceitual dos sujeitos investigados foi organizada em quatro etapas, conforme representado na Figura 2.

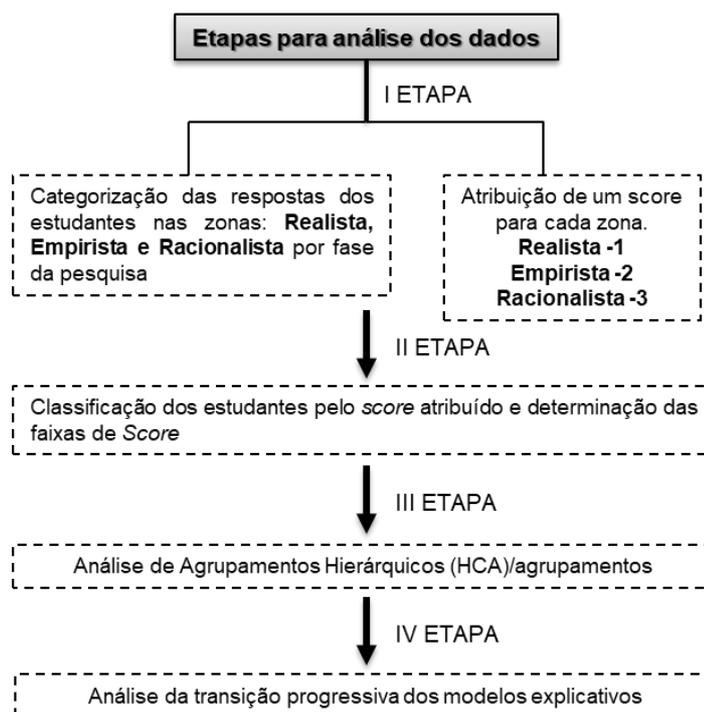


Figura 2 - Etapas para análise dos dados.

Na I etapa, as respostas dos estudantes foram lidas, transcritas em planilhas do Microsoft Office Excel® e agrupadas nas categorias sugeridas por Pazinato *et al.* (2021) nas três fases da pesquisa, conforme descrito na Figura 3. Desta forma, foi atribuído, por exemplo, o score 1 para estudantes que apresentassem em suas ideias concepções realistas sobre o assunto abordado, score 2 para ideias empiristas e score 3 para concepções racionalistas.

Zona filosófica	Descrição	Score	Exemplo: modelos dos estudantes
Realista	Apresentam noções não científicas. Representam ideias associadas ao senso comum, caracterizadas por formas ingênuas, subjetivas e intuitivas de enunciar determinado conceito.	1	<i>“Intermoleculares e a força de atração entre as células. Intramoleculares tem a ver com ações dentro delas”.</i>
Empirista	Começam a empregar termos científicos derivados diretamente da observação, experimentação ou de dados experimentais. Apresentam ideias com um grau de abstração maior que a zona anterior e geralmente não estabelecem muitas relações entre os conceitos.	2	<i>“Intramolecular: limitada ao interior da molécula. Intermolecular: moléculas diferentes para ocorrer interação”.</i>
Racionalista	Apresentam formas científicas de pensar os conceitos em questão. As ideias são complexas e inter-relacionadas, na maioria das vezes com um grande poder de abstração. Há nesta zona, um nível mais elevado de reflexão sobre os conceitos científicos pesquisados.	3	<i>Forças intramoleculares é a interação que une os átomos de uma molécula e ela interfere nas características químicas da molécula. Forças intermoleculares é a interação entre as moléculas, ela interfere nas características físicas de uma substância, pode ser dipolo-dipolo, forças de London e Ligação Hidrogênio. A ligação intramolecular pode ser covalente, iônica e metálica, é muito mais forte que a intermolecular.</i>

Figura 3 - Descrição das Zonas Filosóficas.

Na segunda etapa, calculou-se a média das respostas de cada estudante por fase da pesquisa (inicial, intermediária e final), o que representa a zona predominante das ideias dos estudantes. Para isso, foram determinadas faixas de Scores para cada zona filosófica, com o intuito de se obter uma visão geral da origem do conhecimento do estudante, conforme a Figura 4. Isso se justifica pela pluralidade de pensamento, pois, muitas vezes, para um determinado conceito foram apresentadas respostas de diferentes zonas filosóficas ao longo da pesquisa. Ressalta-se que em cada uma das fases (inicial, intermediária e final) foram coletados dados que serviram de suporte para analisar a transição progressiva. Por exemplo, na fase inicial foram utilizadas cinco questões (Q1 a Q5). Desta forma, a classificação para as ideias do estudante E1 foi: Q1 realistas (1), Q2 realistas (1), Q3 realistas (1), Q4 empiristas (2) e Q5 empiristas (2). Assim sendo, calculou-se a média das respostas ($1+1+1+2+2/5 = 1,4$) e este estudante apresentou uma noção predominantemente realista sobre a natureza das forças intermoleculares. As faixas de scores foram determinadas para se obter uma visão geral sobre as ideias apresentadas pelos estudantes, conforme justificado acima. Esse mesmo procedimento se repetiu para os demais estudantes em todas as fases da pesquisa.



Figura 4 - Faixa de Scores.

Na etapa III foi utilizado o método estatístico de Análise de Agrupamentos Hierárquicos (do inglês, *Hierarchical Cluster Analysis – HCA*), o qual permite otimizar os dados através de agrupamentos de estudantes com respostas similares (Hair, 2005). A HCA é uma técnica analítica com o intuito de formar e desenvolver subgrupos significativos de indivíduos. Em específico, o objetivo da técnica é classificar os sujeitos em um pequeno número de grupos mutuamente excludentes, com base nas similaridades entre eles. A HCA foi realizada com o auxílio do *software* Pirouette®. Para isso, foram construídas planilhas com os valores das médias obtidos nas três fases da pesquisa. Justifica-se a utilização da técnica HCA para que a análise das sequências de transição progressiva não se torne exaustiva e repetitiva, uma vez que a HCA permite o agrupamento hierárquico de estudantes com respostas similares.

Para cada grupo formado a partir da técnica supracitada, será escolhido aleatoriamente um sujeito que represente as ideias da totalidade do grupo para demonstrar a análise da transição progressiva, ou

seja, avaliar a evolução conceitual durante a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares, contemplado a etapa IV.

Além disso, os níveis de representação da matéria também foram considerados para a avaliação das sequências de transição progressiva. Nesta análise, foram adaptadas as categorias propostas por Martorano (2012), conforme Figura 5.

Categoria	Descrição
MEM – Modelo explicativo macroscópico	Poderão se enquadrar nesta categoria os estudantes que apresentarem suas representações pictográficas somente com características macroscópicas, ou seja, representações descritivas e funcionais dos fenômenos em estudo.
MES – Modelo explicativo submicroscópico	Farão parte desta categoria os estudantes que representarem os fenômenos, por meio de entidades do mundo submicroscópico e pela utilização termos específicos da Química.
MEV – Modelo explicativo vinculado	Os estudantes se enquadrarão nesta categoria, se fizerem relações vinculadas entre os níveis submicroscópico e macroscópico, bem como representação dos fenômenos por meio de modelos aceitos cientificamente.

Figura 5 - Descrição das categorias propostas para os níveis de representação da matéria.

Para analisar as sequências de transição progressiva foram considerados dois aspectos na análise dos modelos explicativos apresentados pelos estudantes. O primeiro aspecto está relacionado com a compreensão dos conceitos teóricos referentes ao conteúdo em questão baseados nas zonas filosóficas. O segundo refere-se à capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, ou seja, pretende-se avaliar se os estudantes conseguem entender os fenômenos em estudo, por meio da descrição da situação empírica (macroscópico), explicação em nível atômico-molecular (Submicroscópico), bem como a representação química dos fenômenos (simbólico).

RESULTADOS E ANÁLISES

Inicialmente os dados foram organizados por dimensão e as respostas foram categorizadas em zonas filosóficas (realista, empirista e racionalista) por fase da pesquisa. Em seguida, foram elaborados *scores* com intuito de facilitar a visão global da evolução conceitual por partes dos estudantes pesquisados. A partir disso, classificaram-se os estudantes na totalidade da dimensão, aplicando uma fórmula e atribuindo um *score* que represente a construção do conhecimento nas três fases da pesquisa. Esses resultados foram tratados no método HCA com o auxílio do *software Pirouette* para organizar os estudantes em grupos com respostas similares. Em seguida, elegeu-se um estudante de cada grupo para a análise da sequência de transição progressiva em dois aspectos: compreensão dos conceitos teóricos referentes ao conteúdo de forças intermoleculares e capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria. As informações supracitadas correspondem às quatro etapas do método de análise e seus resultados serão apresentados em dois blocos: processo de categorização inicial (Etapas I e II) e HCA e a transição progressiva (Etapas III e IV).

Processo de categorização inicial – Etapas I e II

Foram analisadas 174 respostas de 29 estudantes participantes da pesquisa. A visão geral da categorização, bem como alguns excertos das respostas dos sujeitos encontram-se na Figura 6.

Na fase inicial, é possível perceber que a maioria (55%) dos estudantes apresenta concepções não científicas para as ideias relacionadas com a natureza das forças intermoleculares. A conceitualização representa ideias associadas ao senso comum. Esses resultados corroboram com a pesquisa desenvolvida por Miranda, Pazinato e Braibante (2018), os quais detectaram diversas concepções ingênuas por parte dos estudantes ao se referirem aos conceitos relacionados ao tema. Aprender Química implica apropriar-se de modos de pensar, de lógicas e de linguagens que se diferenciam do senso comum, ou seja, distanciar-se da realidade imediata e realizar novas leituras dessa mesma realidade, embasados na lógica da ciência aprendida. Em relação à categoria empirista, observa-se que 44,8% dos estudantes se apropriam de alguns termos científicos, mesmo não articulados adequadamente. Apresentam concepções com um grau de

abstração um pouco mais elevado que os estudantes classificados na categoria realista, entretanto não conseguem estabelecer muitas relações entre esses conceitos, dos quais possivelmente são oriundos de observações neutras indutivas.

Categoria	Faixa de Score	Respostas	Frequência (%) por fase da pesquisa		
			Inicial	Intermediária	Final
Realista	1,0-1,4	- São interações que acontecem dentro e fora das moléculas. - Sim. Pois pode haver mudanças/mutações mudando a genética da matéria (E29).	16 (55,2%)	02 (6,9%)	-
Empirista	1,5-2,4	- É uma ligação entre as moléculas. Ou uma interação eletrostática entre as moléculas (E9). - Uma é a força eletrostática entre moléculas e a neutra entre átomos (E16).	13 (44,8%)	17 (58,6%)	18 (52%)
Racionalista	2,5-3,0	- É uma interação eletrostática entre moléculas, formando assim, cargas parciais positivas e cargas parciais negativas. Os polos com cargas positivas irão interagir com os polos de cargas negativas, gerando uma polarização (E2). - Forças intermoleculares é a interação eletrostática entre os dipolos das moléculas esses dipolos têm a natureza pode ser permanente e induzido. Além disso, essas forças influenciam diretamente as propriedades físicas da matéria (E5).	-	10 (34,5%)	11 (48%)

Figura 6 - Categorização das respostas sobre natureza das forças intermoleculares na fase inicial, intermediária e final da pesquisa.

Já na fase intermediária, observou-se que os estudantes começaram a evoluir conceitualmente, o que implica deixar de utilizar termos não científicos, oriundos do senso comum. Entretanto, percebe-se que 58,6% dos sujeitos pesquisados ainda pronunciam suas respostas enraizadas na observação neutra e aplicação de regras gerais para a definição dos conceitos abordados. Segundo Davydov (1972), em uma perspectiva empirista, o ponto inicial para a formação conceitual é a percepção sensorial dos objetos singulares, dos quais são utilizados para explicar os fenômenos em estudo. Ainda segundo o autor, é atribuída importância fundamental às experiências anteriores, apoiadas, quase sempre, em observações visuais, táteis e auditivas. Desta forma, essas observações acabam se tornando a base para a obtenção dos novos conhecimentos, ou seja, com isso, os estudantes não conseguem fornecer uma explicação satisfatória quanto ao processo de formação de conceitos mais complexos.

Destaca-se que nesta fase da pesquisa, os tópicos referentes às forças intermoleculares já estavam sendo abordados em uma lógica dialética construtivista, enfatizando a correlação entre o macroscópico, submicroscópico e simbólico dos conteúdos abordados. Entretanto, as observações supracitadas acabam sendo um obstáculo para a aprendizagem dos estudantes. Esses fatos podem ser exemplificados nas respostas dos estudantes E5, E9 e E16, as quais não estabelecem relações conceituais específicas em suas explicações, apenas aplicam regras gerais para conceituar a natureza das forças intermoleculares.

Também é perceptível que nesta fase da pesquisa 34,5% dos estudantes conseguiram relacionar a natureza das forças intermoleculares com outros conceitos, tais como: apolar, polar, dipolo induzido, dipolo permanente, polarizabilidade, ligação iônica, covalente, metálica e propriedades físicas da matéria, entre outros. Desta forma, as várias relações estabelecidas nas respostas analisadas sinalizam que o conhecimento referente ao tópico evoluiu após a participação dos sujeitos nas atividades propostas na unidade didática 1.

Na fase final, observa-se que 52% dos estudantes não conseguiram superar suas ideias iniciais, atribuindo ainda significados provindos do senso comum. Para Niaz (1998) essas convicções que são resistentes às mudanças podem ser equiparadas ao “núcleo duro”, similares ao núcleo de um Programa de Investigação Científica, ou seja, esse núcleo é a o que define o programa, assume forma de uma hipótese

teórica geral, no qual o programa se desenvolve e, desta forma, para removê-lo ou alterá-lo o tornará degenerativo. Para o autor, os estudantes resistem a mudanças em suas convicções nucleares por criarem “hipóteses auxiliares” para defendê-las. Essas hipóteses auxiliares podem prover pistas para a construção de novas táticas de ensino.

Ainda segundo Niaz (1998) é importante explorar a relação entre as convicções nucleares e as concepções alternativas dos estudantes. Para isso, é primordial que as concepções alternativas sejam interpretadas dentro dos pressupostos epistemológicos, pois desta forma, uma concepção alternativa não se torna um mero engano e se assemelha a um paradigma. Segundo o autor, tal semelhança pode contribuir para que se torne uma candidata à mudança. Analogamente ao processo de aprendizagem, Lakatos (1970) destaca que na ciência, o núcleo de um Programa se desenvolve lentamente por um processo longo e lento de tentativa e erro e nunca emerge do nada. Desta forma, o ato de aprender é um processo vagaroso e requer a utilização de métodos que favoreçam com que o estudante consiga superar suas convicções nucleares.

Etapas III e IV – HCA e a transição progressiva

A Transição progressiva foi avaliada por intermédio de dois aspectos: i) compreensão dos conceitos sobre a natureza das forças intermoleculares baseados nas zonas filosóficas; ii) capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria. Para facilitar a análise dos dados desta etapa da pesquisa, utilizou-se o método estatístico de Análise de Agrupamentos Hierárquicos, que agrupou os estudantes com respostas similares (Hair, 2005).

O dendrograma obtido a partir da HCA está representado na Figura 9. Os ramos do dendrograma indicam oito grupos de alunos (I–VIII) com 68,1% (0,681) de similaridade.

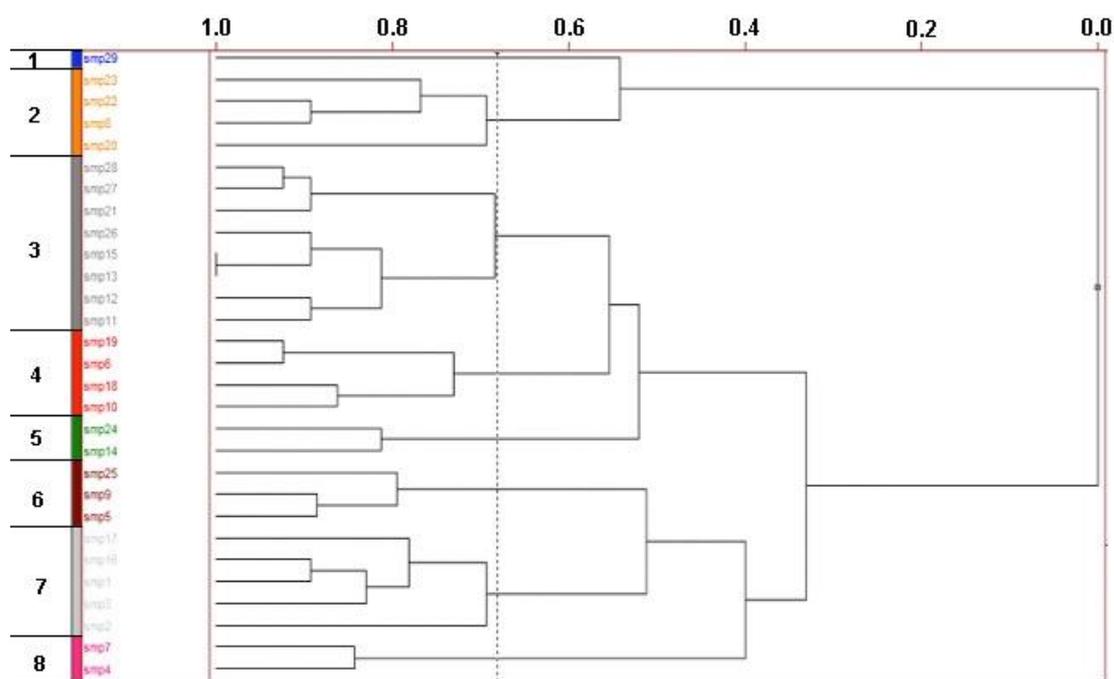


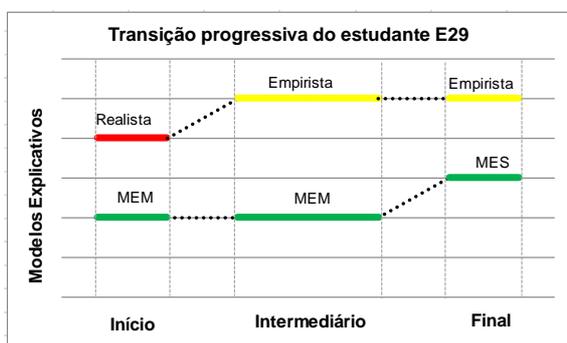
Figura 7 - Dendrograma obtido a partir da HCA utilizado o método Ward/Incremental e a distância Euclidiana.

A Figura 10 apresenta os estudantes que compõem cada grupo da HCA, bem como o escolhido para representar a sequência de transição progressiva, visto que melhor representa as ideias do grupo.

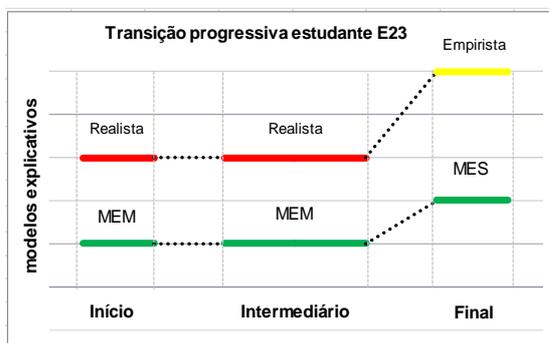
	Estudantes	Estudante escolhido
Grupo I	E29	E29
Grupo II	E8 E20 E22 E23	E23
Grupo III	E11 E12 E13 E15 E21 E26 E27 E28	E11
Grupo IV	E6 E10 E18 E19	E19
Grupo V	E14 E24	E14
Grupo VI	E5 E9 E25	E25
Grupo VII	E1 E2 E3 E16 E17	E1
Grupo VIII	E4 E7	E7

Figura 8 - Grupos da HCA e estudante escolhido para o desenvolvimento da sequência de transição progressiva.

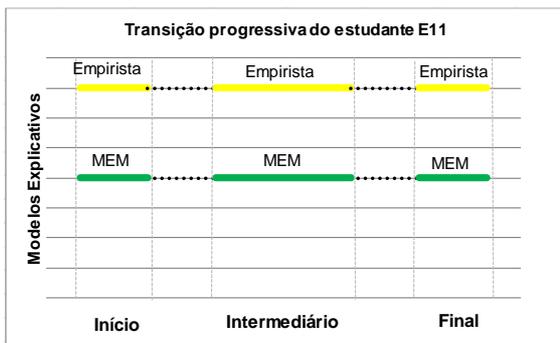
Diante o exposto, a Figura 11 representa os gráficos da evolução dos modelos explicativos dos estudantes E29, E23, E11, E19, E14, E25, E1 e E7, ou seja, a transição progressiva em relação à compreensão da natureza das forças intermoleculares e a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria.



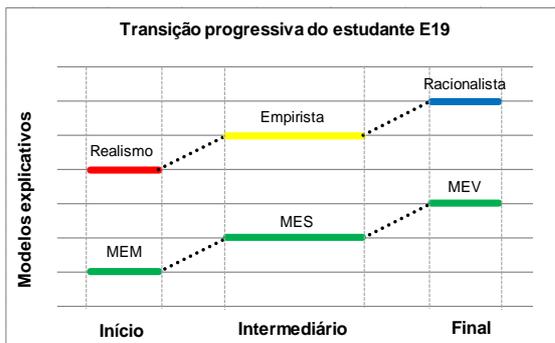
(a)



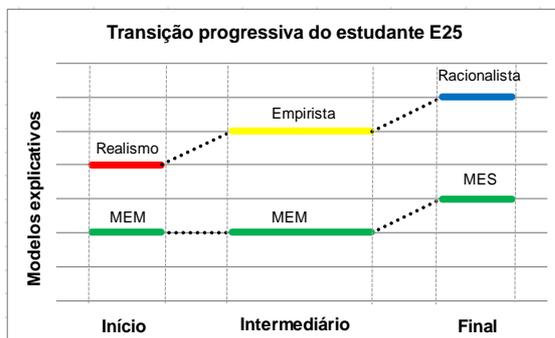
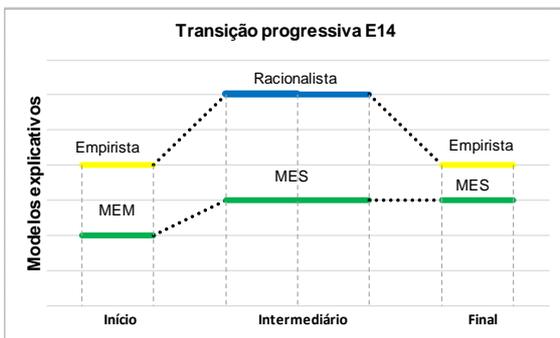
(b)



(c)

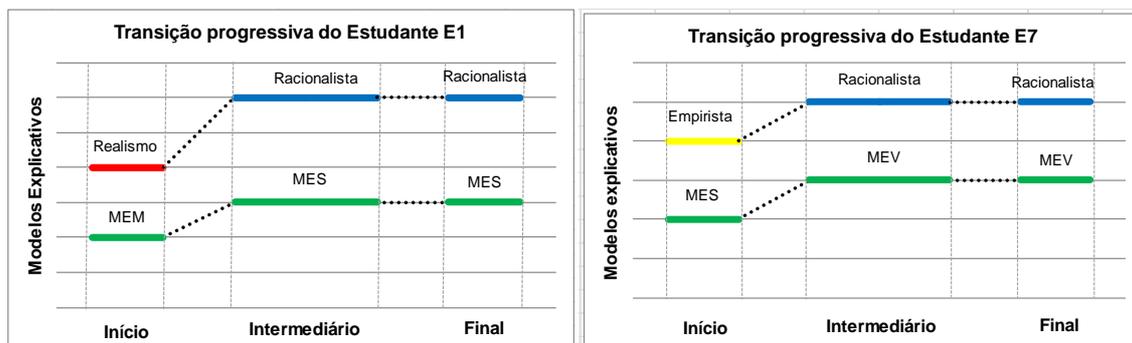


(d)



(e)

(f)



(g)

(h)

Figura 9 - Transição progressiva dos estudantes escolhidos nas três fases da pesquisa.

De forma geral, observa-se que as atividades desenvolvidas durante a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares contribuíram para a transição progressiva dos estudantes E19 (Grupo IV), E25 (Grupo VI), E1 (Grupo VII) e E7 (Grupo VIII). Em relação aos estudantes E14 (Grupo V), inicialmente apresentou visões empiristas e, na fase intermediária, progrediu para concepções racionalistas, no entanto, houve um retrocesso na fase final da pesquisa. Acredita-se que a concepção empirista está fortemente enraizada nas ideias dos estudantes devido a convicção de que o conhecimento científico é apenas derivado de dados experimentais e, por isso, constitui um conhecimento objetivo e provado. É difícil abandonar essas ideias, o que implica maior atenção por parte dos professores para que sejam superadas, com vistas a evolução conceitual em relação ao tema proposto. Os aspectos supracitados corroboram com o resultado apresentado nos gráficos (a), (b) e (c), dos estudantes E29 (Grupo I), E23 (Grupo II) e E11 (Grupo III).

Em relação ao conhecimento sobre forças intermoleculares e a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, percebeu-se uma estreita relação entre as zonas filosóficas que os estudantes foram enquadrados com a habilidade de explicar seus modelos, por meio dos níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico. Por exemplo, o estudante E11 não conseguiu evoluir conceitualmente nas três fases da pesquisa, permanecendo com concepções empiristas e, desta forma, percebeu-se que suas representações pictográficas continham apenas características macroscópicas, ou seja, representações funcionais dos fenômenos em estudo. Conforme já mencionado, um estudante que apresenta concepções majoritariamente empiristas, apesar de possuir um certo grau de abstração, não consegue, geralmente, estabelecer muitas relações entre os conceitos, o que implica a dificuldade em explicar os fenômenos, por meio da vinculação entre o observável e inobservável.

A fim de elucidar a transição progressiva das ideias dos representantes dos grupos de estudantes obtidos pela HCA, a seguir será apresentada a análise por fase da pesquisa.

- Fase inicial

A Figura 12 expõe as concepções sobre a natureza das forças intermoleculares.

Natureza das forças intermoleculares	
E29	- Ligações das moléculas.
E23	- São as forças das moléculas.
E11	- Interação entre diferentes moléculas.
E19	- Interação entre as células das moléculas.
E14	- Interação entre as moléculas diferentes.
E25	- Interação entre moléculas do meio interno.
E1	- Ligação no interior das moléculas.
E7	- Interações entre moléculas polares.

Figura 10 - Concepções dos estudantes na fase inicial da pesquisa.

Sobre as concepções referentes à natureza das forças intermoleculares, os estudantes utilizam um significado literal para o conceito abordado, fundamentando suas ideias em aspectos advindos do senso comum. Além disso, possuem dificuldades em diferenciar as interações intermoleculares das ligações químicas. Pesquisadores da área (Nakhleh, 1992; Gilbert, 1993; Reis, 2008) advertem que a aprendizagem do tema apresenta dificuldades relacionadas ao nível de abstração exigido e têm apontado diversas concepções alternativas de alunos que vivenciaram o ensino tradicional do tema.

Sabe-se que as interações intermoleculares surgem devido às forças que são essencialmente de natureza elétrica, o que implica a influência do comportamento de outras moléculas em suas proximidades (Reis, 2008). Para o entendimento desses conceitos, é necessário compreender que as moléculas interagem não pelo simples fato de se aproximarem entre si ou por ligações entre moléculas próximas, mas por meio de uma força de natureza eletrostática que gera uma polarização induzida ou permanente. Esses aspectos convergem com as ideias iniciais dos estudantes em relação aos conceitos referentes às propriedades físicas e solubilidade. Todos acreditam que existe influência das forças intermoleculares nas propriedades físicas da matéria. Entretanto, continuam fundamentando suas respostas em aspectos observáveis, sem criticidade e racionalidade. Desta forma, na fase inicial prevalecem as concepções realistas sobre o conteúdo abordado.

Em relação à capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, detectou-se que todos os estudantes apresentaram representações pictográficas com características macroscópicas, apenas descrições dos fenômenos em estudo. Algumas pesquisas destacam que os estudantes possuem dificuldades em compreender as representações em Química (Ben-Zvi & Eylon, 1990). O entendimento em nível atômico-molecular é, em especial, de difícil compreensão, pois trata do invisível e abstrato, uma vez que as concepções dos estudantes são construídas pela informação sensorial. Além disso, os estudantes não conseguem estabelecer relações coerentes entre o nível macroscópico e submicroscópico, mesmo que tenham conhecimento conceitual e habilidade de visualizar, muitas vezes são incapazes de transitar de um nível para outro (Pozo, 2001). Essas concepções podem ser fruto de um processo de aprendizagem em Química que enfatiza o enfoque conceitual, estudando a constituição da matéria de forma isolada, neutra e descontextualizada. Portanto, para compreender a Química, é necessário que os estudantes estejam familiarizados com os significados de modelos científicos, bem como com as diferenças e relações entre os fenômenos físicos, modelos e teorias e a simbologia química.

- Fase intermediária

A Figura 13 apresenta as concepções dos estudantes investigados na fase intermediária da pesquisa.

Natureza das forças intermoleculares	
E29	<i>Interação intermoleculares é entre moléculas A intermolecular é separada em dipolo induzido (moléculas apolares) e dipolo permanente (moléculas polares).</i>
E23	<i>É a força que cada molécula possui e influencia diretamente nas partes físicas da matéria.</i>
E11	<i>Força Intermolecular ocorre entre as moléculas. As forças que agem nas substâncias são dipolo induzido ou dipolo permanente. AS forças se influenciam da seguinte maneira: as moléculas criam uma interação intermolecular entre elas. Logo, isso irá alterar suas propriedades físicas como: ponto de ebulição e fusão.</i>
E19	<i>Interações intermoleculares: são interações com dipolo permanente e induzido</i>
E14	<i>As forças intermoleculares ocorrem com moléculas e interferem diretamente nas propriedades físicas das substâncias, podem ser de natureza dipolo induzido ou dipolo permanente. As interações intramoleculares ocorrem com átomos de uma mesma molécula e interferem diretamente nas propriedades químicas, podem ser divididas entre ligação metálica, molecular ou iônica.</i>
E25	<i>Intermoleculares: é uma interação entre moléculas.</i>
E1	<i>Interação intermoleculares é entre moléculas e intramoleculares é entre átomos. A intermolecular é separada em dipolo induzido (moléculas apolares) e dipolo permanente (moléculas polares). Elas influenciam nessas substâncias pois quando perdem ou recebem energia, mudam seu estado físico.</i>
E7	<i>Intermoleculares são interações entre moléculas de átomos. Intramoleculares são interações entre átomos. Quando acontece o rompimento da interação intermolecular nas moléculas acontece a mudança no estado físico.</i>

Figura 11 - Concepções dos estudantes na fase intermediária da pesquisa.

Nesta fase da pesquisa verificaram-se respostas mais elaboradas, com um nível de complexidade maior e inter-relação entre os conceitos. Miranda, Pazinato e Braibante (2018) destacam que um dos graves entraves para a aprendizagem dos conteúdos referentes às forças intermoleculares está relacionado com a confusão que os estudantes fazem entre estas forças e as ligações químicas. Diante disso, observa-se que os estudantes E1 (Grupo VII), E7 (Grupo VIII) e E14 (Grupo V), já nesta fase, conseguiram compreender que uma interação química entre moléculas são atrações e repulsões entre as espécies envolvidas, sem que ocorra a formação de novas ligações químicas. Destacaram ainda que quando as ligações químicas são rompidas ocorre a formação de novas substâncias, ou seja, ocorre uma reação química. Desta forma, percebe-se que apresentaram ideias coerentes com aqueles presentes nas explicações científicas.

No entanto, identificou-se que as concepções empiristas continuam frequentes nas ideias dos estudantes. Aplicar regras gerais, tais como definir as forças intermoleculares apenas como interações entre moléculas, deixa claro que as visões do empirismo ainda influenciam as suas concepções. Para Blanco e Niaz (1998), a concepção dos estudantes sobre determinados conceitos é diretamente influenciada pelos professores e pelo ambiente de sala de aula, desta maneira pode advir de uma assimilação subconsciente. Lakatos (1978) opondo-se ao empirismo, adverte que essa teoria passivista sustenta que o conhecimento científico é verdadeiro e inquestionável, pois é obtido como uma marca impressa pela natureza em uma mente inerte, o que implica a inviabilidade de interpretações à luz das teorias. Desta forma, os estudantes enraízam o conhecimento pronto e acabado, dificultando a superação destes entraves para a aprendizagem racional.

Em relação aos modelos pictográficos, percebe-se que as atividades desenvolvidas favoreceram a transição progressiva de 50% dos estudantes. Eles conseguiram evoluir para um modelo submicroscópico, ou seja, representaram os fenômenos por meio de espécies químicas submicroscópicas, bem como pela utilização de termos específicos da Química. O estudante E1 (Grupo VII) representou seu modelo explicativo de forma submicroscópica, destacando a polarizabilidade, formação das cargas parciais positivas e negativas, dipolo permanente e principalmente, representou de forma correta a interação hidrogênio, por meio das ligações pontilhadas entre os polos positivos e negativos da molécula de água. Esse desenho representa a compreensão em nível atômico-molecular de um determinado fenômeno, não simplesmente uma descrição do observável, mas um entendimento dos conceitos relacionados aos átomos e suas formas de interação. Os representantes E19 (Grupo IV) e E7 (Grupo VIII) fizeram relações entre o nível submicroscópico e macroscópico, enquadrando-se no modelo explicativo vinculado (MEV). Na Figura 14, estão as representações pictográficas dos estudantes E19 (MEV) e E1 (MES), respectivamente.

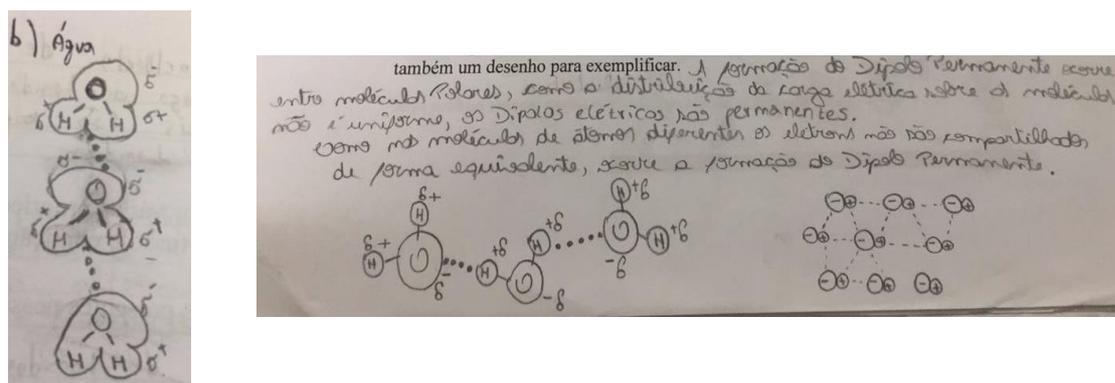


Figura 14 – Representação pictográfica do E1 e E19, respectivamente, na fase intermediária

O estudante E1 representa seu modelo explicativo de forma submicroscópica, destacando a polaridade, formação das cargas parciais positivas e negativas, dipolo permanente e principalmente, representou de forma correta a interação hidrogênio, por meio das ligações pontilhadas entre os polos positivos e negativos da molécula de água. Esse desenho representa a compreensão do nível atômico-molecular de um determinado fenômeno, não simplesmente uma descrição do observável, mas um entendimento dos conceitos relacionados aos átomos e suas formas de interação. Entretanto, ainda não expressou de forma explícita a vinculação com os fenômenos em nível macroscópico.

Já em relação ao E19 foi possível perceber um modelo vinculado entre os níveis submicroscópico e macroscópico, pois ele conseguiu expressar relações entre os fenômenos macroscópicos apresentados no problema inicial (Figura 1) e o nível submacroscópico.

Para Garnett (1995), é necessário desenvolver atividades que busquem a construção de modelos mentais, como atividades experimentais ou manipulação de algo concreto no nível macroscópico, para assim, trabalhar em nível submicroscópico, por meio da utilização de imagens, simulações, modelos atômico-moleculares, cujo objetivo seja elaborar modelos explicativos adequados ao sistema químico em estudo. O autor adverte que o nível simbólico precisa ser empregado no ensino, pois é parte fundamental da Química, entretanto, não pode ser o único abordado, pois isoladamente, não contribui efetivamente para a construção de modelos explicativos decorrentes da aprendizagem de conceitos químicos. Giordan (2008) enfatiza que é necessário direcionar a atenção para atividades que relacionem fenômenos representacionais com a realidade macroscópica e submicroscópica, de forma que os estudantes dominem esses conceitos para elaborar significados coerentes com os modelos científicos.

- Fase final

A Figura 15 apresenta as concepções dos estudantes na fase final da unidade didática 1.

Est	Natureza das forças intermoleculares
E29	<i>Intra: entre átomos de uma molécula. Inter: entre moléculas. (Dipolo-dipolo: força de London - Ligação de hidrogênio).</i>
E23	<i>Inter ocorre entre moléculas e intra entre átomos. Intermolecular une uma molécula com outra.</i>
E11	<i>A diferença é que o intermolecular é entre moléculas e, já o intramolecular é entre os átomos dentro da molécula. Existem 3 forças intermoleculares: dipolo-dipolo: polar; Forças de London: apolar; Ligação Hidrogênio: polar e intensas. Por um fator: diferença de eletronegatividade que as forças intermoleculares afetam as propriedades físicas da molécula. Quanto maior a diferença de eletronegatividade, mais intensa será a interação intermolecular e mais alto será seu P.E. e P.F.</i>
E19	<i>Intermoleculares é entre os dipolos das moléculas, ou seja, quando duas moléculas se aproximam ocorre uma polarizabilidade que provocam distorções na distribuição da carga elétrica das moléculas, provocando diferentes interações entre elas, como as forças de London, dipolo-dipolo, ligação hidrogênio. E intramoleculares é entre os átomos das moléculas. As propriedades físicas estão relacionadas com a energia necessária para romper as interações entre as moléculas.</i>
E14	<i>Intra: interação eletrostática que ocorre com os dipolos das moléculas, esse dipolo pode ser induzido ou permanente. Inter: ocorre com moléculas de um mesmo átomo, ocorrem ligações iônica, metálica e covalente.</i>
E25	<i>A diferença é que o intermolecular é entre moléculas e, já o intramolecular é entre os átomos dentro da molécula. Existem 3 forças intermoleculares: dipolo-dipolo: polar; Forças de London: apolar; Ligação Hidrogênio: polar e intensas. Por um fator: diferença de eletronegatividade que as forças intermoleculares afetam as propriedades físicas da molécula. Quanto maior a diferença de eletronegatividade, maior a polarizabilidade e mais intensa será a interação intermolecular e mais alto será seu P.E. e P.F.</i>
E1	<i>Intermolecular: entre moléculas. Intramolecular: entre átomos. London: entre moléculas com eletronegatividade simétrica, vai ser uma interação mais fraca, por isso seu ponto de fusão e ebulição vai ser mais baixa. Dipolo-Dipolo: entre moléculas com eletronegatividade assimétrica, tendo dois polos e sendo uma interação forte com um campo elétrico entre ele; seu ponto de ebulição vai ser mais alto. Hidrogênio: o H vai se ligar no N, O ou F. Como o hidrogênio, a diferença de eletronegatividade entre o hidrogênio e estes átomos é grande, então ao se aproximarem ocorre uma intensa polarização, formando uma carga parcial positiva ao redor do átomo de hidrogênio e cargas parciais negativas no oxigênio, sua interação vai ser muito forte, então seu ponto de ebulição vai ser muito alto. Eles influenciam nas propriedades físicas porque a intensidade das forças age de maneira diferente.</i>
E7	<i>Forças intra é a interação que une os átomos de uma molécula e ela interfere nas características químicas da molécula. Forças intermoleculares é a interação entre as moléculas, ela interfere nas características físicas de uma substância, pode ser dipolo-dipolo, forças de London e Ligação Hidrogênio. A ligação intra pode ser covalente, iônica e metálica, é muito mais forte que a intermolecular.</i>

Figura 15 - Concepções dos estudantes na fase final da pesquisa.

Observa-se que na fase final houve evolução conceitual significativa em relação aos conceitos abordados. Infere-se que as atividades desenvolvidas proporcionaram a transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes participantes da pesquisa.

Os estudantes E19 (Grupo IV) e E25 (Grupo VI), inicialmente possuíam visões associadas ao senso comum e suas explicações eram subjetivas e intuitivas. No decorrer das atividades, começaram a empregar suas ideias com um grau de abstração maior, mesmo sem estabelecer muitas relações entre os conceitos,

suas explicações já continham termos científicos. No entanto, esses termos apresentavam a simples aplicação de regras gerais, advindas de posicionamentos empiristas. Ao final, os estudantes conseguiram expressar concepções científicas mais complexas e inter-relacionadas.

Destaca-se que os estudantes conseguiram diferenciar as forças intermoleculares das ligações químicas e relacionar as propriedades físicas e reações químicas. Além disso, empregaram termos específicos e complexos, tais como: polarizabilidade, distorção na distribuição da carga elétrica das moléculas, eletronegatividade simétrica e assimétrica, relação entre energia e rompimento das interações, ponto de fusão, ebulição, entre outros. Fica nítido o aumento significativo do poder heurístico dos modelos explicativos dos estudantes participantes da pesquisa, ou seja, observa-se uma sequência de transição progressiva desses modelos.

Na perspectiva Lakatosiana, existem critérios para analisar quando um programa de pesquisa se torna progressivo ou degenerativo em comparação com um rival. Para Lakatos (1978), uma vez compreendida a estrutura teórica e empírica de ambos os programas, é comum, por meio destes critérios, que o programa degenerativo ceda seu espaço para o programa rival mais progressivo. Analogamente, em sala de aula, as atividades desenvolvidas nesta pesquisa são uma ferramenta que auxilia no aumento do poder explicativos dos modelos dos estudantes, cedendo espaço para uma evolução conceitual mais progressiva, ou seja, com maior poder heurístico.

Pesquisas desenvolvidas por Laburú, Arruda e Nardi (1998) e Laburú e Niaz (2002) apontam nessa direção ao afirmarem que as concepções alternativas podem ser classificadas em programas alternativos, as quais competem em termos explicativos, com os rivais que o professor pretende ensinar, definidos como programas científicos. Esse paralelismo foi designado a partir do núcleo do programa (heurística negativa) e pelo cinturão de hipóteses auxiliares (heurística positiva), o que implica seguir o critério de eliminação de teorias proposta por Lakatos. A razão objetiva para a escolha entre programas é proporcionada pela evolução e desenvolvimento do quadro teórico da explicação científica, suplantada por uma demonstração adicional de força heurística (Lakatos, 1978). Desta forma, explica-se a evolução conceitual dos 48% dos estudantes participantes da pesquisa, concluindo que as atividades desenvolvidas até o momento favoreceram a transição progressiva de seus modelos explicativos.

Em relação aos aproximadamente 52% dos estudantes que permaneceram com ideias empiristas, acredita-se que essas concepções estão enraizadas em suas estruturas cognitivas, visto que o ensino de Química proposto nas escolas, geralmente enfatiza o método da observação e memorização neutra dos fenômenos. Em contrapartida, Pozo e Crespo (2009) defendem que o conhecimento químico deve ser ensinado como um saber histórico e provisório. Além disso, é preciso que os estudantes participem do processo de elaboração e construção do conhecimento científico, transcendendo a visão linear, distorcida e neutra desse conhecimento. Acredita-se que dessa maneira, é possível romper com a visão empirista, simplista, indutiva e ingênua da Química, com vistas a superação do senso comum que, por anos, é perpetuado nas instituições de ensino brasileiras.

Já em relação à capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, as atividades desenvolvidas contribuíram de forma efetiva para a transição progressiva dos modelos dos estudantes. Ressalta-se que apenas oito estudantes (Grupo III) permaneceram com o modelo explicativo macroscópico. Conforme mencionado, o estudante E11 teve dificuldades em superar a visão empirista dos fenômenos em estudo, ou seja, suas explicações, tanto no início como no final, estavam apenas baseadas na aplicação de regras gerais, sem muitas relações entre os conceitos. Acredita-se que esse fato está diretamente relacionado com a dificuldade de entender os fenômenos em nível atômico-molecular, uma vez que esta compreensão está vinculada as inter-relações conceituais que o estudante é capaz de se apropriar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Lakatos (1989) afirma que o pensamento científico é desenvolvido por meio de um constante exercício de confrontação de ideias. O autor reforça a ideia de um olhar dinâmico e fundamentalmente dialético envolvendo a competição entre PIC, de forma a destacar como necessidade evolutiva o estímulo de teorias plurais no campo científico. A partir disso, supõem-se, na perspectiva da aprendizagem, que a construção do conhecimento é um processo dinâmico e exige uma variedade de ideias para sua evolução.

Analogamente, pode-se pressupor que para ocorrer a aprendizagem são necessárias conexões conceituais, tendo como critério a competição entre ideias rivais (cinturão protetor e núcleo), o que implica que uma delas detenha maior poder heurístico que a outra. Nesse sentido, as concepções dos estudantes não são meramente consideradas como hipóteses isoladas, mas sim como um conjunto de teorias,

procedentes de construções racionais, podendo tais teorias serem estruturadas por um núcleo firme de concepções sólidas e um cinturão protetor constituído por hipóteses auxiliares que visam proteger o núcleo firme (Pizzato, 2010).

Entretanto, segundo Pizzato (2010), quando o estudante simplesmente tende a modificar o seu cinturão protetor de ideias auxiliares para explicar alguma teoria, mantendo irrefutável o núcleo firme de suas ideias, pode implicar em uma aprendizagem regressiva.

Esses aspectos foram observados em alguns resultados da presente pesquisa. Detectou-se um percentual de estudantes que permaneceu com ideias empiristas, ou seja, não conseguiu formar sequências de transição progressiva de seus modelos explicativos. Observou-se que 31% deles não conseguiram progredir durante as fases da pesquisa.

Além disso, percebeu-se que o pensamento empirista é muito influente no contexto educacional. A concepção de que a Ciência é conhecimento pronto, analítico, descontextualizado, neutro, acabado e provado, ainda permanece influenciando o sistema educacional, o que implica no enraizamento de visões empiristas, difíceis de serem superadas.

Contudo, os resultados revelaram que as atividades desenvolvidas, dentro de uma perspectiva lakatosiana, foram essenciais para que os estudantes, gradativamente, conseguissem evoluir conceitualmente. Observou-se que 69% dos sujeitos conseguiram expressar seus modelos de forma científica, inter-relacionada e com capacidade de abstração, ou seja, no decorrer da pesquisa, foram aumentando o poder heurístico de seus modelos, favorecendo a formação de sequências de transição progressiva.

Constatou-se que existe uma estreita relação entre as zonas filosóficas (realismo, empirismo e racionalismo) e a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria. A maior parte dos estudantes que apresentou modelos explicativos vinculados (MEV) possuía concepções racionalistas. Esses resultados revelaram que a capacidade de interpretar os fenômenos em nível atômico-molecular foi favorecida pelo desenvolvimento do pensamento racionalista. Neste caso, a SD parece ter tido forte influência, pois foram utilizadas atividades de modelagem e atividades experimentais investigativas, das quais estimularam o pensamento dos fenômenos em nível submicroscópico, além da representação do macroscópico (observações pessoais) por meio da simbologia química.

Esta pesquisa não finda com as inúmeras possibilidades de investigações acerca do tema abordado. O contexto educacional brasileiro necessita de mais pesquisas que conjecturem a interpretação de fenômenos do dia a dia por meio do entendimento do conteúdo de forças intermoleculares. Além disso, recomenda-se uma abordagem mais contextualizada deste conteúdo nos cursos de licenciatura, com vistas a formação inicial mais crítica, em que os futuros professores possam ter a oportunidade de refletir sobre as formas de abordar esse tema. Também, é extremamente importante que as questões epistemológicas sejam inseridas nos currículos da formação inicial e nos debates da formação continuada de professores, uma vez que os aspectos epistemológicos são fundamentais para uma formação mais crítica e para superação do modelo empirista ainda influente na educação brasileira.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsas.

REFERÊNCIAS

- Ben-zvi, R., & Eylon, B. (1990). Student's visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, (1), 1-397. <https://doi.org/10.1039/C6RP00235H>
- Boo, H. K. (1998). Students' understandings of chemical bonds and energetics chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 569-581. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199805\)35:5<569::AID-TEA6>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199805)35:5<569::AID-TEA6>3.0.CO;2-N)
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*, Cambridge, United States of America: MIT press.
- Cooper, M. M., Williams, L. C., & Underwood, S. M. (2015). Student understanding of intermolecular forces: a multimodal study. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1288-1298. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00169>

- Carvalho, A. M. P. (2013). O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: *Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula*. São Paulo, SP: Cengage Learning.
- Davydov, V. V. (1972). Tipos de generalización en la enseñanza. Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación. Recuperado de <https://docero.com.br/doc/xexxxn>
- Dolz, J. Noverraz, M., & Schneuwly, B. (2004). Sequências didáticas para o oral e a escrita: apresentação de um procedimento. In R. Rojo & G. S. Cordeiro (Orgs). *Gêneros orais e escritos na escola* (21a ed.) São Paulo, SP: Mercado de Letras.
- Duschl, R. A., & Gitomer, D. H. (1994). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280909>
- Garnett, P. J. (1995). Student's alternative conceptions in chemistry: a review of research for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25(2), 69-95. <https://doi.org/10.1080/03057269508560050>
- Gil- Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de um modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4537>
- Gilbert, J. (1993). Models & Modelling in science education. Hatfield. *The Association for Science Education*. 11(1), 1-13.
- Guimarães, Y. A. F., & Giordan, M. (2011). Instrumento para construção e validação de sequências didáticas em um curso a distância de formação continuada de professores. In: *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, VIII. Anais. Campinas, SP. Recuperado de http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viii/enpec/resumos/R0875-2.pdf
- Hair, J. R. (2005). *Análise Multivariada de Dados* (5a ed.). Rio de Janeiro, RJ: Bookman.
- Johnstone, A. H. Macro and microchemistry. (1982). *The School Science Review*, 64(227), 377-379.
- Johnstone, A. H. (2009). You Can't Get There from Here. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 22-29. <https://doi.org/10.1021/ed800026d>
- Laburú, C. E., Arruda, S. M., & Nardi, R. (1998). Os programas de Lakatos: uma leitura para o entendimento da construção do conhecimento em sala de aula em situações de contradição e controvérsia. *Ciência e Educação (Bauru)*, 5(2) 23-38. <https://doi.org/10.1590/S1516-73131998000200003>
- Laburú, C. E., & Carvalho, M. (2005). *Educação Científica: Controvérsias Construtivistas e Pluralismo Metodológico*. Londrina, PR: Eduel.
- Laburú, C. E., & Niaz, M. (2002). A Lakatosian Framework to Analyze Situations of Cognitive Conflict and Controversy in Students' Understanding of Heat Energy and Temperature. *Journal of Science Education and Technology*, 11(3). <https://doi.org/10.1023/A:1016064301034>
- Laburú, C. E., & Silva, O. H. M. (2001). Uma leitura lakatiana para a análise de situações de controvérsias e conflitos cognitivos (uma aplicação durante a aprendizagem de cinemática angular). In *XIV Simpósio Nacional de Ensino de Física*.
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (2001). *Fundamentos metodologia científica* (4a ed.). São Paulo, SP: Atlas.
- Lakatos, E. M., & MARCONI, M. A. (1992). *Metodologia do trabalho científico* (4a ed.). São Paulo, SP: Atlas.
- Lakatos, I. (1998). *História da Ciência e suas Reconstruções Racionais*. Lisboa, Portugal: Edições 70.
- Lakatos, I. (1971). History of Science and its Rational Reconstruction. *Boston Studies in the Philosophy of Science*, 13(6), 28-41.

- Lakatos, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica* (2a ed.) Madrid, España: Alianza.
- Lakatos, I., & Musgrave, A. (1970). *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139171434>
- Martorano, S. A. A. (2012). *transição progressiva dos modelos de ensino sobre cinética química a partir do desenvolvimento histórico do tema*. (Tese de doutorado), Departamento de Química, Universidade de São Paulo, SP. Recuperado de <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81132/tde-25022013-124601/pt-br.php>
- Miranda, A. C. G., Pazinato, M. S., & Braibante, M. E. F. (2018). Tendências do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares a partir da análise de publicações em periódicos nacionais e internacionais, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 394-419. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC_17_2_06_ex1290.pdf
- MEC – Ministério da Educação e do Desporto (1998). *Parâmetros curriculares nacionais: Ciências naturais*. Brasília, DF: MEC/SEF. Recuperado de <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencias.pdf>
- MEC – Ministério da Educação. (2018). *Base Nacional Comum Curricular*. Ministério da Educação. Brasília, DF: MEC. Recuperado de http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn Chemistry? - Chemical Misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196. <https://doi.org/10.1021/ed069p191>
- Niaz, M., & Rodríguez, M. A. (2002). Improving learning by discussing controversials in 20th century physics. *Physics Education*, 59-63. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/37/1/308/pdf>
- Niaz, M. A. (1998). Lakatosian Conceptual Change Teaching Strategy Based on Student Ability to Build Models with Varying Degrees of Conceptual Understanding of Chemical Equilibrium. *Science & Education*, 2(7), 107-127. <https://doi.org/10.1023/A:1008671632536>
- Niaz, M. A (2001). Rational reconstruction of the origin of the covalent bond and its implications for general chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, 23(6), 623-641. <https://doi.org/10.1080/09500690010006491>
- Niaz, M. (1995). Relationship between student performance on conceptual and computational problem of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*. <https://doi.org/10.1080/0950069950170306>
- Niaz, M., & Rodriguez, M.A. (2000). Teaching Chemistry as Rhetoric of Conclusions or Heuristic Principles – A History and Philosophy of Science Perspective. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, (1), 315-322. <https://doi.org/10.1039/B0RP90013C>
- Pazinato, M. S. (2016). *Ligações Químicas: Investigação da construção do conhecimento no ensino médio*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-graduação Educação em Ciências, Universidade Federal de Santa Maria, RS. Recuperado de <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3555>
- Pazinato, M. S., Bernardi, F. M., Miranda, A. C. G., & Braibante, M. E. F. (2021). Epistemological Profile of Chemical Bonding: Evaluation of Knowledge Construction in High School. *Journal of Chemical Education* (171-246). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00353>
- Pizzato, M. C. (2010). *Enseñanza Coinspirada: Un estudio de Caso en la Formación de profesores de Ciencias*. (Tesis doctoral). Universidad de Burgos, España. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=130856>
- Peterson, R. F., & Treagust, D. F. (1989). Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education*, 66(6), 459-460. <https://doi.org/10.1021/ed066p459>

- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). 'Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change', *Science Education* 66(2), 211-227. Recuperado de https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/PHS122/%CE%91%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1/Posner_Strike_Hewson_Gertzog.pdf
- Pozo, J. I., & Crespo, M. Á. G. (2009). *Aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*, Porto Alegre, RS: Artmed.
- Pozo, R. M. (2001). Prospective teacher's ideas about the relationships between concepts describing the composition of matter. *International Journal of Science Education*, 353-371. <https://doi.org/10.1080/095006901300069084>
- Reis, A. S. (2008). *Ligações Hidrogênio no cotidiano: uma contribuição para o ensino de Química*. (Dissertação de mestrado). Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Recuperado de <https://www.btdeq.ufscar.br/teses-e-dissertacoes/ligacoes-hidrogenio-no-cotidiano-uma-contribuicao-para-o-ensino-de-quimica>
- Santos, M. de C., Almeida, L. R., & Filho, P. F. S. (2020). O Ensino Contextualizado de Interações Intermoleculares a partir da Temática dos Adoçantes. *Ciência & Educação (Bauru)*, 26, e20028. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200028>
- Silva, O. H. M., Nardi, R., & Laburú, C. E. (2008). Uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos com instrução de racionalidade por uma reconstrução racional didática. *Revista Ensaio*, 10(1). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21172008100102>
- Stipcich, S., & Toledo, B. (2001). Una analogía estructural entre Toulmin y Vigotsky como aporte para desarrollar diseños curriculares. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18(1), 41-51. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5165854>
- Terrabuio, L. A. (2013). *Investigação dos múltiplos atômicos da teoria quântica de átomos em moléculas no estudo de propriedades moleculares*. (Dissertação de mestrado). Instituto de Química, Universidade de São Carlos, SP. Recuperado de <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75134/tde-23042013-111623/pt-br.php>
- Torres, N.M., Landau, L., Monteserin, H., & Baumgartney, E. (2010). Fuerzas intermoleculares y su relación con propiedades físicas: búsqueda de obstáculos que dificultan su aprendizaje significativo. *Educación Química*, 21(3), 212-218. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30085-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30085-5)
- Zabala, A. A (1998). *Prática Educativa: Como educar* (5ª ed.). Porto Alegre, RS: Artmed. Recuperado de <https://www.ifmg.edu.br/ribeiraodasneves/noticias/vem-ai-o-iii-ifmg-debate/zabala-a-pratica-educativa.pdf>

Recebido em: 10.06.2021

Aceito em: 18.06.2022