

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

LARA OLIVEIRA LOPES

**EXPLORANDO AS FORÇAS INTERMOLECULARES EM UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA FUNDAMENTADA NO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO**

Ouro Preto

2025

LARA OLIVEIRA LOPES

**EXPLORANDO AS FORÇAS INTERMOLECULARES EM UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA FUNDAMENTADA NO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Química da Universidade Federal
de Ouro Preto como requisito final para obtenção
do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Max Dias Ferreira
Coorientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Gomes
Miranda

Ouro Preto

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L864e Lopes, Lara Oliveira.

Explorando as forças intermoleculares em uma sequência didática fundamentada no ensino por investigação. [manuscrito] / Lara Oliveira Lopes. - 2025.

69 f.: il.: color., gráf., tab.. + Quadro.

Orientadora: Profa. Dra. Gabriel Max Dias Ferreira.

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Gomes Miranda.

Monografia (Licenciatura). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Graduação em Química .

1. Química- Ensino. 2. Estratégias de aprendizagem. 3. Forças intermoleculares. 4. Ligações químicas. I. Ferreira, Gabriel Max Dias. II. Miranda, Ana Carolina Gomes. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 55

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lara Oliveira Lopes

Explorando as forças intermoleculares em uma sequência didática fundamentada no ensino por investigação

Monografia apresentada ao Curso de Química Licenciatura da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Licenciatura em Química

Aprovada em 19 de março de 2025

Membros da banca

Prof. Doutor Gabriel Max Dias Ferreira - Orientador (Departamento de Química, Universidade Federal de Ouro Preto)
Profa. Doutora Ana Carolina Gomes Miranda - Coorientadora (Departamento de Química, Universidade Federal de Ouro Preto)
Profa. Doutora Kisla Prislen Félix Siqueira - Avaliadora (Departamento de Química, Universidade Federal de Ouro Preto)
Profa. Doutora Sandra de Oliveira Franco Patrocínio - Supervisora (Departamento de Química, Universidade Federal de Ouro Preto)

Gabriel Max Dias Ferreira, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/04/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Sandra de Oliveira Franco Patrocínio, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/04/2025, às 20:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0879240** e o código CRC **3A2EDF2C**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.003245/2025-42

SEI nº 0879240

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: 3135591707 - www.ufop.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha mãe Maria das Mercês Oliveira e minha irmã Luma Oliveira Lopes, por todo apoio durante a graduação, por serem sempre pilares. Mãe, você sem perceber, me motiva todos os dias. Obrigada por ser quem você é, e por fazer eu me tornar quem eu sou.

Aos meus orientadores, Gabriel Max Dias Ferreira e Ana Carolina Gomes Miranda, obrigada por me acompanharem, guiarem e serem minha base na elaboração deste trabalho.

À todo corpo docente do departamento de química da UFOP, por me proporcionarem as melhores experiências que eu poderia ter na graduação, especialmente: Clarissa Rodrigues, Gilmar Pereira de Souza, Nilmara Braga Mozzer, Rute Cunha Figueiredo e Sandra de Oliveira Patrocínio. Sem o apoio, carinho, conselhos e o suporte de vocês, isso não seria possível.

À minha orientadora de iniciação científica, Kísla Príslen Félix Siqueira, por me acompanhar desde o início da graduação, estar sempre disponível, por estar comigo em qualquer situação. Você faz parte desse trabalho.

Obrigada por acreditarem em mim, mesmo quando eu não acreditava. O acolhimento de vocês, o colo e todo o amor que me deram é um dos principais motivos da existência desse trabalho. Vocês são meus espelhos, espero ser tão boa professora como vocês são.

A República Taberna, obrigada por serem os melhores amigos que eu poderia ter. Ao meu grande amigo Gabriel Rocha de Carvalho, obrigada pelo companheirismo, paciência, e pela amizade que me cativa diariamente.

Agradeço imensamente a todos, Química Licenciatura na UFOP foi a melhor escolha que eu fiz na minha vida, e vocês fizeram ser assim. Eu amo química, especificamente, licenciatura em química. Amo vocês. Obrigada por me proporcionarem os melhores momentos da minha vida.

Obrigada a todos!

*“Se a educação sozinha não transforma a sociedade,
sem ela tampouco a sociedade muda”
(Freire, P)*

RESUMO

O ensino tradicional, caracterizado pela exposição de informações pelo professor e pela memorização por parte dos alunos, tem sido alvo de críticas devido à sua baixa eficácia na promoção da aprendizagem significativa. Diante disso, diversas metodologias têm sido investigadas para transformar o papel dos estudantes em sala de aula, tornando-os agentes ativos no processo de construção do conhecimento. No contexto do ensino de química, entre os conteúdos essenciais para a compreensão das transformações físico-químicas da matéria, destaca-se o conteúdo de forças intermoleculares, um tema que frequentemente gera dificuldades e concepções alternativas entre os alunos. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma sequência didática para o ensino de forças intermoleculares, para alunos do ensino básico, fundamentada nos referenciais teóricos da educação científica e no Ensino por Investigação, conforme proposto por Ana Maria Pessoa de Carvalho. A sequência didática foi estruturada para ser desenvolvida em quatro aulas e seguiu as seguintes etapas: seleção dos referenciais teórico-metodológicos, definição dos objetivos de aprendizagem, escolha de um tema contextualizador, seleção dos conceitos químicos e elaboração das atividades investigativas. A sequência didática proposta foi norteada pela questão-problema: “Como fazer uma bolha que possa durar mais tempo sem estourar?”, a partir da qual os conceitos de interações intermoleculares foram inseridos para conduzir os alunos em uma análise investigativa de quais as causas a nível microscópico estão associadas com o maior tempo de duração de uma bolha de sabão.

Palavras-chave: ensino por investigação; forças intermoleculares; sequência didática; bolhas de sabão; interações químicas.

ABSTRACT

Traditional teaching, characterized by the teacher's presentation of information and students' memorization, has been criticized for its low effectiveness in promoting meaningful learning. In this context, several methodologies have been investigated to transform students' roles in the classroom, making them active agents in the process of knowledge construction. In the context of chemistry education, among the essential content for understanding the physicochemical transformations of matter, intermolecular forces stand out as a topic that frequently generates difficulties and alternative conceptions among students. In this sense, the present study aims to develop a teaching sequence for the teaching of intermolecular forces for basic education students, based on the theoretical frameworks of scientific education and Inquiry-Based Learning, as proposed by Ana Maria Pessoa de Carvalho. The teaching sequence was structured to be developed over four lessons and followed the following steps: selection of theoretical-methodological frameworks, definition of learning objectives, choice of a contextualizing theme, selection of chemical concepts, and development of investigative activities. The proposed teaching sequence was guided by the problem question: “How can you make a bubble that lasts longer without popping?”, through which the concepts of intermolecular interactions were introduced to guide students in an investigative analysis of the microscopic causes associated with the longer duration of a soap bubble.

Keywords: inquiry-based learning; intermolecular forces; didactic sequence; soap bubbles; chemical interactions.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO	14
2.2 SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO	16
2.2.1 <i>O problema</i>	17
2.2.2 <i>O problema experimental</i>	17
2.2.3 <i>Sistematização</i>	19
2.2.4 <i>Contextualização</i>	20
2.3 MODELOS E MODELAGEM	21
2.4 FORÇAS INTERMOLECULARES	23
2.4.1 <i>Forças Íon-dipolo</i>	26
2.4.2 <i>Forças dipolo-dipolo</i>	27
2.4.3 <i>Ligação de hidrogênio</i>	28
2.4.4 <i>Forças de London</i>	30
2.5 TENSÃO SUPERFICIAL	32
2.6 SUPERFÍCIES CURVAS	33
2.7 FILMES SUPERFICIAIS	35
3. JUSTIFICATIVA.....	37
4. OBJETIVOS.....	39
4.1 OBJETIVO GERAL.....	39
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
5. METODOLOGIA	40
6. PRODUTO EDUCACIONAL.....	43
6.1 PANORAMA GERAL DO PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO (SEI).....	43
6.2 DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO DA SEI: ETAPAS FUNDAMENTAIS	47
6.2.1 <i>Aula 1 – Campeonato de bolhas</i>	47
6.2.2 <i>Aula 2 – Trabalhando as ideias dos estudantes</i>	52
6.2.3 <i>Aula 3 - Modelos e Representações das Interações Intermoleculares</i>	55

6.2.4 Aula 4 – Contextualização	62
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1. INTRODUÇÃO

O ensino tradicional é frequentemente caracterizado pela apresentação de informações pelo professor, seguida da memorização por parte dos alunos, que posteriormente demonstram a internalização do conteúdo através de atividades avaliativas. Nesse modelo de aprendizagem, o professor assume o papel central e ativo na sala de aula, conduzindo todo o processo de raciocínio e apresentação do conteúdo. Aos estudantes resta um papel passivo, atuando apenas como telespectadores que anotam os conteúdos e acompanham o raciocínio do professor (Sasseron, 2008).

Ensinar ciências por métodos que mudem as interações entre professor e aluno não tira a autoridade do professor em sala de aula, mas permite trabalhar com o intelectual dos alunos, com o objetivo sendo o progresso deles. Esse método de ensino que concebe, planeja e implementa ideias de ensino de ciências reúne a cultura escolar e as práticas da cultura científica. A observação em sala de aula, bem como a análise dos fatos expostos, das ideias e das hipóteses, possibilita a construção de explicações por parte dos alunos, por meio de interações entre as pessoas que integram determinado espaço e os materiais que são disponibilizados (Sasseron, 2008). A interação social não ocorre apenas entre o professor e o aluno, mas com todo o espaço em que se encontra, os problemas, assuntos e informações que estão sendo trabalhados (Carvalho, 2014).

Dessa forma, a inserção do ensino por investigação na sala de aula propõe essa mudança nas interações professor-aluno, colocando os alunos no centro do processo de aprendizagem, no qual eles são instigados a tomar decisões e enfrentar suas dificuldades. Além disso, o ensino por investigação fomenta o questionamento, planejamento, recolha de evidências e a comunicação (Batista, 2010). Ao analisar esse método de ensino que é proposto, não se avalia somente o aprendizado do aluno em relação aos conteúdos programáticos, mas sim o conjunto da fala, argumentação, leitura e escrita sobre o conteúdo (Carvalho, 2018).

Considerando o ensino de química, um tema fundamental para a compreensão de aspectos relacionados à natureza da matéria, seus estados físicos, suas interfaces e os processos que ocorrem no universo é “forças intermoleculares”. É pelo reconhecimento da existência das forças intermoleculares que se explica, por exemplo, porque os tecidos do corpo humano não se separam dos ossos, porque os oceanos não se transformam em gás, porque água e óleo não se misturam ou porque o dióxido de carbono é um gás em temperatura ambiente (Atkins; Jones; Laverman, 2018). Entretanto, algumas pesquisas indicam que o ensino e a aprendizagem do conteúdo de forças

intermoleculares não têm ocorrido de maneira eficiente (Santos; Almeida; Santos Filho, 2020 e Cooper; Williams; Underwood, 2015). Esses estudos apontam que esse tópico tende a gerar concepções alternativas¹ aos modelos científicos entre os estudantes. Em outra investigação (Miranda; Pazinato; Braibante, 2018), uma pesquisa bibliográfica em periódicos nacionais e internacionais identificou as principais tendências no ensino e aprendizagem de forças intermoleculares. Entre as lacunas nos processos de aprendizagem identificadas pelos autores destacam-se concepções alternativas recorrentes como: não há diferenças significativas entre forças intermoleculares e ligações químicas; forças intermoleculares são mais fortes que ligações intramoleculares; existe ligação de hidrogênio em todas as moléculas que possuem hidrogênio e a força dessa interação é medida pela quantidade de hidrogênios na molécula.

Frequentemente, encontramos informações relacionadas à ciência em diversos meios de comunicação. Esse grande volume de informações vem afirmando um requisito educacional para o ensino de ciências, visto que o acesso a essas informações não se encontra apenas na escola. Nesse sentido, o ensino das disciplinas científicas deve fomentar aos estudantes não só a construção do conhecimento, mas também a formação de cidadãos que possam compreender os aspectos culturais, sociais e epistêmicos que envolvem a prática científica (Silva; Gerolin; Trivelato, 2018).

Visto isso, alguns estudos mostram que devemos possibilitar aos alunos que conheçam e se apropriem das práticas científicas. O envolvimento dos alunos nas práticas científicas pode proporcionar conhecimentos que rompem com as visões deformadas da ciência (Silva; Gerolin; Trivelato, 2018). Diante disso, Silva; Gerolin; Trivelato, 2018, consideram o ensino por investigação como uma forma de abordagem propícia para a apropriação das práticas científicas.

Além disso, observa-se a necessidade de propostas didáticas que abordem o conteúdo de forças intermoleculares por meio do ensino por investigação, uma vez que essa abordagem pode contribuir para a construção ativa do conhecimento pelos estudantes acerca deste conteúdo. Considerando a importância desse tema e a necessidade de estratégias que favoreçam a aprendizagem significativa, este trabalho teve como objetivo elaborar uma Sequência Didática (SD) fundamentada no ensino por investigação, voltada para o ensino de forças intermoleculares, como uma proposta para ser aplicada a estudantes do ensino básico na disciplina de química.

¹Segundo Wandersee et. al (1994, p. 125), as concepções alternativas são “os produtos da aprendizagem individual dos estudantes, de seu esforço intelectual para dar sentido e organizar uma visão de mundo”.

Essa proposta foi norteadada pela seguinte questão:

"Como os fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação podem orientar a elaboração de uma sequência didática para o ensino de forças intermoleculares, promovendo o engajamento ativo dos estudantes e a compreensão significativa dos conceitos?"

Para responder a essa questão e estruturar a fundamentação da pesquisa, este trabalho está organizado da seguinte forma: Inicialmente são apresentados os referenciais teóricos que fundamentam o estudo, abordando conceitos relacionados ao ensino por investigação, às forças intermoleculares e às principais dificuldades de aprendizagem associadas a esse tema. Na sequência, a metodologia adotada para o desenvolvimento da sequência didática é apresentada, detalhando as etapas de elaboração e os critérios utilizados na construção do produto educacional. Então, a proposta da sequência didática, com a descrição das atividades desenvolvidas e a justificativa para cada uma delas, é apresentada. Por fim, as considerações finais são apresentadas, destacando-se as contribuições do estudo e possíveis desdobramentos para pesquisas futuras.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais referenciais teóricos que fundamentam este estudo. Primeiramente, discute-se o ensino por investigação como uma abordagem metodológica inovadora no ensino de ciências. Em seguida, aborda-se a estruturação de Sequências de Ensino por Investigação (SEI) e suas implicações pedagógicas. Por fim, são discutidos os conceitos de modelagem e abordagem comunicativa, que auxiliam na construção do conhecimento científico em sala de aula.

2.1 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

Tem-se buscado estudar e discutir diferentes formas para ensinar ciências, através de elementos essenciais que permitam a análise de modo global e complexa, presumindo a aprendizagem como um conjunto de habilidades adquiridas, entendendo não só os conhecimentos científicos, como também todo comportamento e ações para abordagem de um tema em sala de aula (Sasseron, 2008).

Frequentemente, o ensino é visto como uma apresentação de informações do professor, os alunos memorizam essas informações e, para os alunos demonstrarem a internalização do conteúdo ensinado, é feita atividades avaliativas. Esse tipo de processo de aprendizagem, o professor é o grande ator da sala de aula, e é ele quem faz todo processo de raciocinar o conteúdo a ser aprendido, cabendo aos estudantes o papel de apenas telespectadores, que anotam os conteúdos e acompanham esse raciocínio (Sasseron, 2008).

Ensinar ciências por métodos que mudem as interações professor e aluno, não tira a autoridade do professor em sala de aula, mas permite trabalhar com o intelectual dos alunos, com objetivo sendo o progresso científico deles. Esse método de ensino, que concebe, planeja e implementa ideias de ensino de ciências reuni a cultura escolar e as práticas da cultura científica. A observação em sala de aula, análise dos fatos expostos, das ideias e hipóteses possibilita a construção de explicações por parte dos alunos, através de interações entre as pessoas que integram determinado espaço e os materiais que são disponibilizados (Sasseron, 2008). A interação social não ocorre apenas entre o professor e o aluno, mas com todo espaço em que se encontra, os problemas, assuntos, informações que estão sendo trabalhados (Carvalho, 2014).

Na tentativa de conceituar “ensino por investigação”, encontra-se uma diversidade de definições, em que cada autor dá sua contribuição para o conceito. Na perspectiva de alguns

autores, este assunto refere-se a atividades científicas, para outros caracteriza-se pelo processo científico, e alguns associam a resolução de problemas ou descobertas. Em uma análise didática de cerca de 1500 livros e revistas científicas, os termos mais usados pelos educadores investigativos são: inventar, procurar, localizar, desvendar e materializar. Desse modo, os autores acreditam que a resolução de problemas pode ser incluída no ensino por investigação (Batista, 2010).

Segundo Carvalho (2018), define-se o ensino por investigação como um ensino dos conteúdos programáticos em que é criado pelo professor na sala de aula, circunstâncias para que os alunos pensem, considerando a estrutura do conhecimento; falem, expondo seus argumentos e conhecimentos construídos; escrevam de forma autônoma e clara nas suas ideias. Dessa forma, os alunos não são avaliados apenas pelo aprendizado do conteúdo programático, mas sim pelo conjunto da fala, argumentação, leitura e escrita.

Considerando que a Sequência de ensino por investigação (SEI) além desses conceitos, tem como objetivo o desenvolvimento de conteúdo ou temas científicos, ao desenvolver esses conteúdos em sala de aula, é importante que o professor tenha cuidado com o grau de liberdade intelectual dado ao aluno e com a elaboração do problema. O grau de liberdade e a elaboração do problema são tópicos imprescindíveis para o docente criar na sala de aula a interação com o material, construindo seus conhecimentos em uma SEI (Batista, 2010).

Diante disso, o QUADRO 1 aborda os modelos metodológicos que podem ser executados nas atividades didáticas no ensino de ciências, abordando o grau de liberdade intelectual que o professor possibilita aos alunos em cada modelo. A primeira coluna (Grau 1) refere-se ao modelo diretivo, em que, na aula, o professor apresenta o problema e as hipóteses do problema, restando aos alunos, seguir as informações passadas. As aulas que seguem esses passos são chamadas de “receita de cozinha”. A partir dos problemas e da hipótese apresentada pelo professor, o papel do aluno consiste em comprovar a teoria, pois as conclusões já são conhecidas. Assim, os alunos tendem a alterar seus resultados originais para não errar. A coluna de Grau 1, apresenta uma situação em que o aluno pode não acreditar em seus próprios dados (Carvalho, 2018).

Quadro 1 – Graus de liberdade entre o professor (P) e o aluno (A) em atividades experimentais

	Grau 1	Grau 2	Grau 3	Grau 4	Grau 5
Problemas	P	P	P	P	A

Hipóteses	P	P/A	P/A	A	A
Plano de trabalho	P	P/A	A/P	A	A
Obtenção de dados	A	A	A	A	A
Conclusões	P	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe

Fonte: Carvalho, 2018, p. 768

Na coluna de Grau 2, o professor é mais aberto e participativo, entretanto, ainda é um ensino direto. Ainda que as hipóteses e o plano de trabalho sejam apresentados pelo professor, eles são discutidos com os alunos. Por isso, pode-se haver situações em que os alunos pensem. Já na coluna de Grau 3, o problema é sugerido pelo professor e as hipóteses são discutidas com os alunos, porém, são os alunos que procuram como realizar o experimento sendo supervisionados pelo professor. Como no Grau 3, no Grau 4, o aluno participa ativamente no raciocínio intelectual. Pode ser com que um grupo erre e sejam o que mais aprenda (Carvalho, 2018).

Na coluna de Grau 4 de liberdade, apresenta alunos mais maduros, que já possuem experiências com o ensino por investigação e estão habituados a trabalhar em grupo tomando suas próprias decisões. Todavia, ainda é o professor que propõe o problema, sendo uma figura importante na construção do conhecimento. Em contrapartida, no Grau 5, os alunos propõem o problema e as hipóteses, o que é encontrado raramente no ensino fundamental e médio (Carvalho, 2018).

2.2 SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

É válido ressaltar “a importância de um problema para o início da construção do conhecimento” (Carvalho, 2014, p.2). Ao expor esse fato, a proposição de um problema, em que o próprio aluno tenha que resolvê-lo, será o que separa a aula expositiva do professor e o processo de aprendizagem, que faz com que o aluno raciocine e construa seus conhecimentos. Quando se propõe um problema, o professor orienta e acompanha o aluno em vez de raciocinar por ele (Carvalho, 2014).

Dessa forma, a sequência de ensino por investigação (SEI) deve conter atividades essenciais para sua elaboração. Em sua maioria a SEI é iniciada por uma questão problema, seja ela

experimental ou teórica, estimulando os alunos no assunto desejado, fornecendo a eles condições para raciocinar e trabalhar com variáveis que estejam interligadas ao fenômeno científico central do assunto que foi programado. Em seguida, logo depois da resolução do problema, é necessária uma atividade de sistematização do conhecimento que foi construído pelos alunos. A sistematização pode ser feita de preferência com o auxílio de um texto escrito, em que através da leitura os alunos possam discuti-lo, relacionando o que desenvolveram e pensaram durante a construção da resposta da questão problema com o que leram no texto. Após isso, uma terceira atividade é proposta, a contextualização do conhecimento no cotidiano dos estudantes. Nesse momento, os alunos verão a importância do conceito construído no seu dia a dia, a aplicação desses conceitos do ponto de vista social (Carvalho, 2014).

2.2.1 O problema

Em uma SEI, o problema pode ser feito de diversas formas, entretanto, o problema experimental é comumente o que mais envolve os alunos. Existem vários experimentos que envolvem materiais ou reagentes perigosos de serem manipulados pelos alunos, como por exemplo, os experimentos com fogo. Nesses casos a manipulação deve ser feita pelo professor, e o problema torna-se uma demonstração investigativa (Carvalho, 2014).

O problema também pode ser exposto por meio de figuras em um jornal, internet, texto, ou ideias já vistas e entendidas pelos alunos, esses são os problemas não experimentais. Em qualquer que seja a escolha do tipo de problema, deve-se seguir sequencialmente as etapas, com o objetivo de que o aluno tenha a oportunidade de levantar e testar suas hipóteses, passando da ação manipulativa para ação intelectual, construindo seus pensamentos e argumentando com o professor juntamente aos colegas. Ao planejar essas atividades, a questão problema e o material didático que darão suporte ao aluno na elaboração da resposta, devem ser organizados de forma simultânea, pois um é essencial para o outro (Carvalho, 2014).

2.2.2 O problema experimental

Os aparatos experimentais, figuras, textos... devem ser organizados para que o aluno não se perca na resolução. O material didático deve ser envolvente para eles, de fácil manuseio para que possam manipular e chegar a uma solução sem se cansarem. Além disso, é essencial que o material didático dê a oportunidade ao aluno de diversificar suas ações, esse momento permite ao aluno

observar resultados a partir das alterações correspondentes feitas no objeto. Caso o aluno não possa variar suas ações observando o comportamento do objeto, ocasionará em pouca oportunidade para estruturação intelectual (Carvalho, 2014).

O problema deve ser bem planejado, é necessário que ele esteja contido na cultura social dos alunos, sendo um problema relacionado com algo que pode ser visto cotidianamente, de modo que desperte o interesse dos alunos e os cativa a ponto de procurar uma solução. É importante que esse processo permita o aluno a expor os conhecimentos (estruturados ou espontâneos) adquiridos anteriormente. É a partir dos conhecimentos já adquiridos que o aluno irá manipular os materiais didáticos e levantar e testar hipóteses para a resolução do problema (Carvalho, 2014).

Durante a etapa de distribuição do material experimental e proposição do problema pelo professor, deve-se dividir a turma em grupos menores, distribuir o material, propor o problema aos alunos e verificar se todos entenderam o problema a ser resolvido. O material deve ser manipulado pelo aluno, sem que o professor mostre como manipular, assim como não dar a solução do problema (Carvalho, 2014).

Em seguida, na etapa de resolução do problema pelos alunos, o conceito a ser construído não é o foco, mas sim, as ações manipulativas, que darão suporte aos alunos para levantar hipóteses e colocar o que pensaram em prática. É através das ideias propostas pelos alunos que serão testadas experimentalmente e dão certo, que eles terão a chance de construir o conhecimento. Além das hipóteses que deram certo, as que não deram também são imprescindíveis na construção do conhecimento, pois é a partir do erro, dos experimentos que não deram certo de que os alunos irão confiar no que é certo, excluindo variáveis que não influenciam na resolução do problema (Carvalho, 2014).

Visto que, os alunos que possuem desenvolvimento intelectual semelhante têm mais facilidade de comunicar-se entre si, é necessário que a resolução do problema seja feita em pequenos grupos. Nessa etapa, é preciso que os alunos errem, ou seja, que eles levantem hipóteses, testem e vejam que elas não influenciam na resolução do problema. Assim, eles irão separar as variáveis que influenciam na resolução do problema, das que não influenciam. Nessa etapa, a função do professor é checar se os alunos entenderam o problema e deixá-los testar suas hipóteses. (Carvalho, 2014). “É muito mais fácil propor suas ideias a um colega que a um professor” (Carvalho, 2014).

Após isso, o professor checa se os pequenos grupos formados terminaram a resolução do problema, desfaz esses grupos e guarda os materiais experimentais, para que o aluno não se distraia com os materiais. Então, inicia-se um debate com os alunos. Essa é a etapa de sistematização dos conhecimentos elaborados nos grupos, o ideal é que seja feito em um grande grupo, como por exemplo, montar um círculo com todos os alunos, os permitindo ver o outro colega (Carvalho, 2014).

Nesta etapa, a comunicação com o colega e o professor faz com que o aluno relembre o que fez na etapa de resolução do problema, e auxilia na construção do conhecimento que está sendo sistematizado. Por esse motivo, é essencial que o aluno tenha espaço e tempo para discussão. Para estimular a participação dos estudantes, o professor pode utilizar perguntas como, “Como vocês conseguiram resolver o problema?”. E desse modo, há a passagem da ação manipulativa para a ação intelectual. Os alunos vão relatando o que fizeram no experimento, as ideias que deram certo e como foram testadas. Com o relato dos alunos, a construção de evidências, juntamente com os dados que foram anotados, foram o ponto de partida para o desenvolvimento de atitudes científicas (Carvalho, 2014).

Perguntas como, “Por que vocês acham que deu certo?” ou “Como vocês explicam o porquê de ter dado certo?” deverão ser feitas após o relato de todos. Através de perguntas como essas, os alunos irão tentar justificar o fenômeno que observaram, mesmo que seja uma explicação causal, uma argumentação científica. Essa explicação causal fomenta conceitos e pensamentos que procuram explicar o fenômeno. Em alguns casos, ao decorrer do processo da sistematização, pode ser que haja necessidade de construção de gráficos e tabelas, a mediação do professor é essencial nesse processo (Carvalho, 2014).

Dado isso, o professor deve pedir aos alunos que desenhem o que aprenderam durante a aula, essa é a etapa de sistematização individual do conhecimento. Ao dialogar com o grupo formado, e depois com toda classe, os alunos constroem uma aprendizagem social. Depois da construção coletiva, os alunos devem ter um tempo para a aprendizagem individual (Carvalho, 2014).

2.2.3 Sistematização

Depois de todas as etapas anteriores, os professores se perguntam se todos entenderam o conteúdo ou apenas os que participaram das aulas. Ainda que o professor analise as respostas

escritas dos alunos, ele ainda não terá essa resposta, pois eles nunca expõem todas as etapas feitas na sala. E mesmo que o aluno relacione o conteúdo construído com o cotidiano, ainda assim, não traz a certeza aos professores sobre o que se propôs a ensinar (Carvalho, 2014).

Dessa forma, é essencial um texto de sistematização para recapitular todos os principais conceitos construídos nas aulas anteriores, e o processo de construção desses conceitos. A leitura do texto de sistematização do conhecimento é para ser vista como uma atividade complementar à questão problema. Além disso, deve ser feito em uma linguagem mais formal, mas de forma que os alunos entendam, pois durante toda discussão para a construção do conhecimento se deu predominantemente a linguagem informal (Carvalho, 2014).

2.2.4 Contextualização

O último momento da SEI envolve a contextualização do conhecimento, etapa em que os alunos refletem sobre a aplicabilidade dos conceitos estudados em diferentes situações. A contextualização pode ser realizada por meio de debates, resolução de problemas do cotidiano ou atividades que relacionem o conteúdo científico a questões ambientais, tecnológicas e sociais.

Essa fase é essencial para que os alunos compreendam a relevância da ciência para a sociedade, desenvolvendo uma visão mais ampla e crítica sobre os fenômenos naturais e suas implicações. Segundo Carvalho (2014), uma abordagem eficaz para essa etapa é apresentar aos alunos desafios práticos ou dilemas científicos e incentivá-los a propor soluções baseadas no conhecimento construído durante a SEI.

Além disso, a contextualização pode incluir atividades avaliativas formativas, permitindo que o professor verifique a aprendizagem dos estudantes sem recorrer a avaliações tradicionais. Questionários reflexivos, cruzadinhas e produção de textos são exemplos de estratégias que podem ser utilizadas para consolidar o conhecimento e estimular a autonomia dos alunos no processo de aprendizagem.

Assim, a Sequência de Ensino por Investigação (SEI) proporciona aos alunos a oportunidade de construir conhecimento científico de maneira ativa e contextualizada, permitindo que desenvolvam habilidades essenciais para o pensamento crítico e a argumentação científica. No entanto, para que essa abordagem seja efetiva no ensino de química, é fundamental considerar também o papel dos modelos e da modelagem na aprendizagem. A construção do conhecimento em ciências naturais frequentemente envolve representações que auxiliam na compreensão de

conceitos abstratos, como átomos, moléculas e interações intermoleculares. Dessa forma, o uso de modelos se torna um recurso essencial para facilitar a aprendizagem e promover uma visão mais estruturada dos fenômenos científicos.

2.3 MODELOS E MODELAGEM

No começo da aprendizagem em química, um dos primeiros assuntos é “modelos atômicos”. A palavra “modelos” pode ser entendida de várias formas, incluindo reprodução de algo, padrão a ser seguido, ou manequim. Um estudante que pensa sobre esses significados, claramente fica em dúvida em relação ao que ele aprenderá no contexto da química. Por esse motivo, as palavras e expressões utilizadas em química devem ser discutidas com os alunos, evitando mal-entendidos, já que a química é encarada por vários estudantes como uma disciplina complexa e incompreensível (Justi, 2019).

Pensando por outra perspectiva, os próprios professores atribuem significados errôneos a certas palavras ou expressões da química. Por exemplo, no contexto da palavra “modelos”, alguns professores e futuros professores pensam que se refere a “reproduções” ou “cópias”. Então, como ensinar química se os próprios educadores não possuem clareza sobre esses significados, nem sobre o papel de modelos e modelagens durante o processo de aprendizagem do aluno? (Justi, 2019). Numa perspectiva ampla em ciências, “um modelo é uma representação parcial de uma entidade, elaborado com um ou mais objetivo(s) específico(s) e que pode ser modificado” (Gilbert; Boulter; Elmer², 2000, *apud* Justi, 2019, p. 211).

Visto a ideia de representação parcial, é essencial entender que representar não está vinculado somente a casos em que há semelhança entre o modelo e o objeto ou ideia a ser modelado (Justi, 2019).

Além de serem fundamentais para a compreensão de conceitos científicos, os modelos e a modelagem desempenham um papel central no ensino de química, pois permitem que os alunos visualizem e representem fenômenos que, muitas vezes, não podem ser observados diretamente. Desde a concepção dos modelos atômicos até a explicação das interações moleculares, o uso de representações auxilia no desenvolvimento do pensamento abstrato e na construção do conhecimento científico. No entanto, para que a modelagem seja realmente eficaz, é essencial que

² Gilbert; Boulter; Elmer, Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. 2000.

os estudantes não apenas reproduzam modelos prontos, mas participem ativamente do seu desenvolvimento, compreendendo seus significados e limitações.

O processo de modelagem envolve a construção e a revisão contínua de representações científicas, permitindo que os alunos explorem diferentes possibilidades e testem hipóteses, assim como ocorre na prática científica real. Ao elaborar modelos, os estudantes precisam justificar suas escolhas, confrontar diferentes interpretações e adaptar suas representações à medida que novas evidências são incorporadas. Esse processo reflete a natureza dinâmica da ciência, em que o conhecimento não é fixo, mas constantemente revisado e aprimorado.

Na educação química, a modelagem pode ser aplicada de diversas formas, desde representações simbólicas e diagramas até simulações computacionais e experimentações práticas. O uso de diferentes tipos de modelos, como modelos particulados (para representar átomos e moléculas), estruturais (para ilustrar ligações e interações químicas) e matemáticos (para descrever relações quantitativas), favorece uma compreensão mais ampla dos fenômenos químicos. Além disso, a integração entre diferentes formas de representação ajuda os alunos a desenvolverem habilidades de correlação entre escalas macroscópicas, microscópicas e simbólicas, um dos grandes desafios do ensino de química.

Para que a modelagem seja significativa, é importante que o professor crie situações-problema que estimulem os estudantes a construir seus próprios modelos e justificá-los com base em evidências experimentais ou conceituais. Esse tipo de abordagem não apenas favorece a aprendizagem ativa, mas também ajuda a desenvolver habilidades como pensamento crítico, argumentação científica e comunicação de ideias.

Além disso, a modelagem permite que os alunos identifiquem limitações dos modelos científicos, compreendendo que toda representação tem um grau de simplificação e pode ser ajustada conforme novas descobertas são feitas. Esse aspecto é essencial para evitar equívocos, como a interpretação de modelos atômicos como representações literais dos átomos, ou a ideia de que as estruturas moleculares representadas em livros didáticos são exatamente como as moléculas existem no mundo real.

Assim, ao integrar a modelagem ao ensino de ciências, os professores podem oferecer aos estudantes uma ferramenta para a compreensão dos conceitos químicos, tornando o aprendizado mais interativo, significativo e próximo da realidade da ciência.

Dentre os diversos conceitos químicos que podem ser explorados por meio da modelagem, as forças intermoleculares se destacam por sua importância na compreensão do comportamento das substâncias em diferentes estados físicos. O estudo dessas interações permite que os alunos visualizem e expliquem fenômenos como a solubilidade, a tensão superficial e a mudança de estado de substâncias, relacionando-os à organização e à interação entre as partículas. Dessa forma, a modelagem não apenas facilita a construção de representações desses fenômenos, mas também contribui para a reestruturação de concepções alternativas, promovendo um entendimento mais profundo da natureza das forças que mantêm as substâncias coesas.

2.4 FORÇAS INTERMOLECULARES

No estudo das propriedades da matéria, compreender as forças intermoleculares é essencial para explicar fenômenos físicos e químicos observados no cotidiano. Essas interações são responsáveis pela coesão entre moléculas, influenciando diretamente características como estados físicos, solubilidade, tensão superficial e até processos biológicos fundamentais para vida. Embora invisíveis a olho nu, essas forças desempenham um papel central na organização da matéria e nas transformações químicas que ocorrem no ambiente. A modelagem das interações intermoleculares permite não apenas visualizar essas forças abstratas, mas também compreender como elas influenciam o comportamento das substâncias em diferentes condições.

A existência das diferentes fases da matéria deve-se às forças intermoleculares. Fase pode ser caracterizada como uma região homogênea de um sistema que possui estado físico e composição química definidos. Para uma certa condição termodinâmica de temperatura e pressão, uma substância pura poderá se apresentar como sólido, líquido ou gás. Por exemplo, A 10 °C e 1 atm, o etanol constitui-se em líquido. A substância estará no estado físico que possui o menor valor de energia livre de Gibbs para uma dada condição termodinâmica. O conteúdo de energia livre de Gibbs presente nesse processo está diretamente associado com a interação potencial entre as partículas que formam a substância (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

A interação potencial entre átomos de uma mesma molécula possui uma intensidade superior às interações potenciais que são responsáveis pela “junção de moléculas”. Essas interações potenciais que existem entre moléculas denominam-se como interações intermoleculares. Para a compreensão dessas forças é importante o conhecimento de alguns aspectos associados a como cargas elétricas ou dipolos interagem entre si (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

De acordo com a lei de Coulomb, caso haja cargas parciais dispersas no espaço elas irão se atrair ou repelir. Considerando um sistema formado por duas cargas parciais Q_1 e Q_2 interagindo entre si, a energia potencial (E_p) desse sistema depende da distância r entre as espécies, como observado na Equação 1 (Atkins; Julio, 2018).

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q_1 \times Q_2}{r} \quad (1)$$

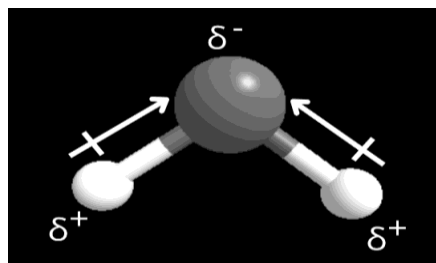
Um momento dipolo elétrico consiste em um sistema de 2 cargas de sinais opostos e de mesmo módulo que estão separadas por uma determinada distância. O produto entre a carga e a distância fornece o módulo do que se define como vetor momento de dipolo elétrico (μ), conforme equação a seguir.

$$\mu = QR \quad (2)$$

A direção e sentido do vetor momento de dipolo é retratado como uma seta que aponta no sentido da carga negativa (Atkins; Jones, 2018).

Por exemplo, ao observar uma molécula de água (FIG. 1), o átomo de oxigênio é mais eletronegativo que o átomo de hidrogênio. Portanto, há um deslocamento da nuvem eletrônica em direção ao átomo de oxigênio, gerando um dipolo elétrico na molécula de água em função da separação das cargas parciais dos átomos numa dada distância entre eles. O momento de dipolo elétrico do conjunto envolvendo o átomo de oxigênio e um átomo de hidrogênio é o produto entre o módulo da carga parcial desses átomos e a distância entre o átomo de hidrogênio e o átomo de oxigênio.

Figura 1 – Cargas parciais da molécula de água. O círculo cinza representa o átomo de oxigênio, e o branco os átomos de hidrogênio.



Fonte: Elaborado pela autora

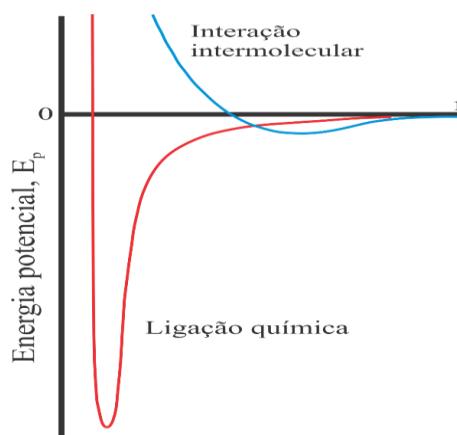
Uma molécula que possui momento de dipolo resultante médio diferente de zero (momento de dipolo permanente) é denominada como uma molécula polar. Considerando uma molécula diatômica, um momento de dipolo permanente é decorrente da existência de cargas parciais de

siniais opostos distribuídas entre os dois átomos da molécula, as quais são geradas em virtude de alterações da densidade eletrônica dos átomos, promovidas pela diferença de eletronegatividade entre eles. Diferentemente, uma molécula que apresenta momento de dipolo resultante médio igual a zero é denominada de apolar. Moléculas apolares podem ter um momento de dipolo momentâneo (momento de dipolo induzido), causado pela deformação da nuvem eletrônica da molécula devido a algum estímulo externo, tal como a presença de um campo elétrico externo. Esse momento de dipolo induzido pode atuar de forma similar a um momento de dipolo permanente, levando à formação de interações intermoleculares entre moléculas apolares. Se o momento de dipolo foi induzido por um campo elétrico externo, quando esse campo elétrico é removido, o momento de dipolo induzido desaparece. A capacidade que a nuvem eletrônica tem de ser deformada pela presença de um campo elétrico externo está associada com a polarizabilidade da molécula (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

O momento de dipolo induzido é diretamente proporcional à intensidade do campo elétrico externo aplicado sendo a constante de proporcionalidade que relaciona essas grandezas definido como polarizabilidade. Quanto maior a polarizabilidade de uma molécula, maior a tendência de deformação de sua nuvem eletrônica na presença de um campo externo e, conseqüentemente, maior o momento de dipolo induzido. Moléculas menores, com poucos elétrons, apresentam polarizabilidades mais baixas. As moléculas com alta energia de ionização também possuem polarizabilidade baixa, visto que os elétrons estão mais fortemente ligados ao núcleo dos átomos que formam a molécula (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

O GRAF. 1 apresenta como a energia potencial varia a partir da aproximação ou afastamento entre os centros de duas partículas (átomos ou moléculas). Para ambas as curvas apresentadas, a energia potencial diminui à medida que as partículas se aproximam, o que indica a predominância de forças de atração. Então, a partir de determinada distância entre as partículas, a energia potencial passa a aumentar com uma maior redução da distância, associado à predominância de forças repulsivas. Apesar da semelhança de perfil das curvas, na curva em vermelho há um poço de energia potencial íngreme, associado à formação de uma ligação química entre dois átomos, enquanto na curva em azul, um poço de energia potencial bem mais suave é observado, associado à formação de uma interação intermolecular entre duas moléculas, que se relaciona diretamente com a interação entre dois dipolos (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

Gráfico 1 – Variação da energia potencial em um sistema de duas partículas em função da distância entre elas (r). A curva em vermelho representa a interação entre 2 átomos para formar uma ligação química, enquanto a curva em azul representa a interação entre 2 moléculas para formar uma interação intermolecular.



Fonte: ADAPTADO, Atkins; Jones; Laverman (2018, p. 186)

Assim, a presença de dipolos elétricos (permanentes ou induzidos) nas moléculas possibilita que haja interações de natureza eletrostática entre elas (Atkins; Julio, 2018), existindo diferentes tipos de interações, como as interações entre dois ou mais íons, íons e moléculas neutras, e entre moléculas neutras, as quais são classificadas de acordo com a sua intensidade, conforme discutido nas seções seguintes (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

2.4.1 Forças Íon-dipolo

Ao adicionar um sólido iônico em água, por exemplo, as moléculas de água interagem com os íons na superfície do sólido, aos poucos promovendo a dissolução dele. Essa interação se dá especialmente pela forte interação entre as cargas dos íons (carregados positivamente ou negativamente) e os dipolos da água, que caracteriza a interação íon-dipolo. Nesse processo, as moléculas de água “envolvem os íons em solução” e se diz que os íons estão hidratados. A dissolução de Cloreto de Sódio (NaCl) em água é um exemplo disso. Ao adicionarmos Cloreto de Sódio em água, as regiões da molécula de água com cargas parciais positivas são direcionadas ao íon cloreto, por ser uma espécie com carga negativa. E as regiões da molécula de água com carga parcial negativa, direciona-se ao íon sódio, por ser a espécie carregada positivamente (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

A interação entre uma molécula polar e um íon pode ser aproximada pela interação entre uma carga e um dipolo. A energia potencial para um sistema formado entre um dipolo e uma carga é dada por:

$$E_p \propto - \frac{|z|\times\mu}{r^2} \quad (3)$$

em que z é a carga da espécie, μ é a magnitude do dipolo e r é a distância entre eles. O sinal negativo que acompanha o módulo de z indica que a energia de interação atrativa do íon e das moléculas diminui com o aumento da distância entre eles. A partir da interação entre as espécies, significando atração das partículas (Atkins; Jones; Laverman, 2018). Nesse sentido, a energia potencial da interação carga-dipolo depende de $\frac{1}{r^2}$, entretanto, a interação entre duas cargas depende de $\frac{1}{r}$. A interação entre carga-dipolo é mais fraca que a interação entre duas cargas, dado que, o momento de dipolo elétrico de uma molécula polar é em razão das suas cargas parciais. Desse modo, para que a energia potencial seja muito negativa e a intensidade da interação intermolecular seja alta, é necessário que a molécula polar esteja muito próxima ao íon que com que está interagindo.

Ademais, a carga do íon e seu tamanho, são importantes para a intensidade dessa atração. Conforme a diminuição da distância entre a carga-dipolo, há o aumento da força de interação entre eles. Por esse motivo, os íons menores são mais hidratados que os íons maiores, há uma atração maior. Como por exemplo, o lítio e o sódio comumente formam sais hidratados, e o potássio, e o rubídio, não formam sais hidratados por causa de seu tamanho, o que aumenta a distância entre a carga-dipolo (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

2.4.2 Forças dipolo-dipolo

A interação do tipo dipolo-dipolo é aquela que ocorre entre moléculas ou átomos que possuem momento de dipolo elétrico diferente de zero, ou seja, entre duas cargas parciais. A energia potencial em um sistema de dois dipolos é inversamente proporcional ao cubo da distância entre eles conforme a relação:

$$E_p \propto - \frac{\mu_1\mu_2}{r^3} \quad (4)$$

em que μ_1 e μ_2 são as magnitudes dos dipolos e r é a distância entre eles. Essa relação também se tem que a energia potencial da interação se torna mais negativa o aumento da intensidade dos dipolos (Atkins; Jones; Laverman, 2018). Pensando na ideia de duas moléculas como dois dipolos, também pode-se entender que a interação entre elas tende a ser mais intensa com o aumento da

polaridade das moléculas. Entretanto, apesar de a energia potencial depender da distância entre as moléculas, ela não é descrita pela relação 4. Considerando um sistema formado por moléculas polares, sua energia potencial, no estado gasoso, é da forma:

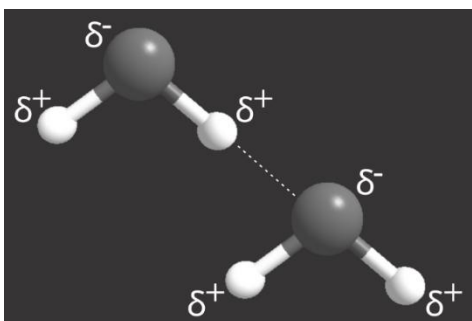
$$E_p \propto -\frac{\mu_1\mu_2}{r^6} \quad (5)$$

Portanto, as interações dipolo-dipolo só são relevantes quando as moléculas estão muito próximas. Adicionalmente, a Equação 5 só descreve a interação entre as moléculas para certos valores de distância entre as moléculas. Devido às forças repulsivas entre partículas de mesmo sinal nas moléculas que interagem, quando estas estão muito próximas, essa dependência seria descrita por uma função da mesma natureza daquela que descreve a curva na FIG. 1 (curva vermelha). As forças dipolo-dipolo são de mais curto alcance que as forças íon-dipolo.

2.4.3 *Ligação de hidrogênio*

No contexto das interações dipolo-dipolo, existe um caso limite que envolve moléculas que possuem átomos de hidrogênio ligados a outros átomos específicos. Essa interação é conhecida como ligação de hidrogênio, e os átomos específicos aos quais o átomo de hidrogênio está ligado possuem alta eletronegatividade, particularmente a átomos de nitrogênio, oxigênio ou flúor. Esses átomos de hidrogênio apresentam uma elevada carga parcial positiva que pode interagir por meio de interações de dipolo-dipolo mais intensas com cargas parciais negativas localizadas sobre átomos muito eletronegativos de outras moléculas, caracterizando a ligação de hidrogênio (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

Figura 2 – Interação ligação de hidrogênio entre moléculas de água



Fonte: Elaborado pela autora

Um exemplo clássico de formação de ligação de hidrogênio ocorre entre moléculas de água. A FIG. 2 ilustra tal interação, em que os átomos de hidrogênio são representados pelas esferas brancas e o átomo de oxigênio são as esferas cinza-escuras.

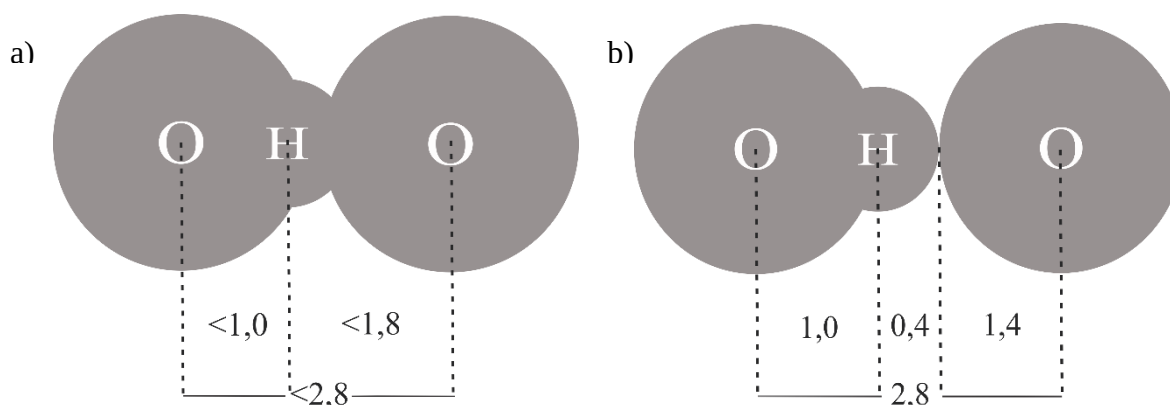
Na molécula de água a ligação O-H é polar. O átomo de oxigênio é muito eletronegativo, portanto, atrai mais fortemente o par de elétrons da ligação para si. Desse modo, o átomo de hidrogênio adquire uma carga parcial positiva. Como o átomo de hidrogênio é pequeno, ele pode se aproximar bastante de um par de elétrons não ligantes do átomo de oxigênio de outra molécula de água. A carga parcial positiva do átomo de hidrogênio e o par de elétrons não ligantes do átomo de oxigênio atraem-se fortemente, formando a ligação de hidrogênio (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

Essa força intermolecular existe nos estados sólido, líquido e em solução. Entretanto, no estado gasoso, apenas compostos unidos por ligações de hidrogênio muito intensas mantêm-se unidos. Como por exemplo, o vapor de ácido acético, que contém pares de moléculas que são ligadas por ligações de hidrogênio (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

Para distinguir a ligação de hidrogênio das demais forças intermoleculares, têm-se alguns critérios para a identificação. Um desses critérios é a energia da formação de uma ligação de hidrogênio. Essa energia varia entre 2 a 20 kcal·mol⁻¹ no caso de uma ligação de hidrogênio, enquanto para interações de Van der Waals costumam ser inferiores a 2 kcal·mol⁻¹. As ligações entre átomos, por sua vez, são mais intensas, variam entre 30 a 200 kcal·mol⁻¹. Um outro critério seria algumas características próprias da ligação de hidrogênio. Essa interação normalmente ocorre de forma linear, direcional e específica (Bueno, 1978).

Um último aspecto relevante a respeito da ligação de hidrogênio, que revela a intensidade dessa interação, é que a distância entre o hidrogênio da molécula doadora de prótons e o átomo eletronegativo da espécie receptora de prótons é menor que a soma dos raios de Van der Waals dos átomos envolvidos na ligação de hidrogênio, como nas FIG. 3a e 3b. Pode-se observar que quando a ligação de hidrogênio é formada ocorre superposição de nuvens eletrônicas do átomo de hidrogênio da molécula doadora e o átomo de oxigênio da molécula receptora. Isso leva a diminuição da distância que liga os átomos envolvidos na interação em comparação onde a ligação de hidrogênio não estaria presente (FIG. 3b). Além disso, a ligação de hidrogênio possui uma fraca energia de repulsão entre as moléculas (Bueno, 1978).

Figura 3 - Raios de Van der Waals dos átomos envolvidos na ligação de hidrogênio



Fonte: Bueno, 1978, pag. 43

2.4.4 Forças de London

Mesmo entre moléculas ou espécies apolares, interações atrativas podem ser observadas. Uma evidência disso ocorre na interação entre átomos de gases nobres, que são monoatômicos, e por isso apolares, mas ainda assim podem ser liquefeitos. Outras substâncias como alguns hidrocarbonetos de cadeia longa que constituem a gasolina, e são moléculas apolares, encontram-se no estado líquido (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

Para entender como moléculas apolares podem interagir atrativamente, é preciso lembrar que moléculas apolares possuem momento de dipolo resultante médio igual a zero. O motivo para tal encontra-se na distribuição simétrica da nuvem eletrônica em torno da molécula. Entretanto, em alguns instantes a nuvem eletrônica em torno da molécula pode sofrer uma deformação, induzindo o aparecimento de cargas parciais de mesmo módulo e de sinais opostos, e consequentemente, levando à formação de um dipolo instantâneo na molécula, isto é, uma separação dipolar momentânea das cargas (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

Um dipolo instantâneo que foi gerado em uma molécula é capaz de induzir um dipolo instantâneo temporário em uma molécula vizinha através da distorção da nuvem eletrônica na segunda molécula. Então, o dipolo elétrico gerado na segunda molécula pode interagir atrativamente com o dipolo da primeira molécula. Quando o dipolo instantâneo da primeira molécula se altera em virtude da distorção da nuvem eletrônica, o dipolo induzido da segunda molécula se altera para acompanhar a mudança. Por consequência, há atração permanente entre elas. Essa interação atrativa é denominada como interação dispersiva de London, ou forças de

London. Essa interação age entre todo tipo de moléculas (ou átomos), e de todas as interações intermoleculares existentes, é a única interação que ocorre entre moléculas apolares e entre gases monoatômicos (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

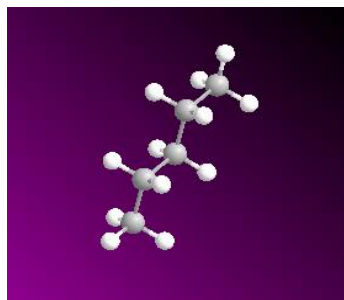
A energia potencial das interações intermoleculares em um sistema de duas moléculas apolares varia com o inverso da sexta potência da distância entre eles, conforme a equação:

$$E_p \propto -\frac{\alpha_1\alpha_2}{r^6}, \quad (6)$$

em que α_1 e α_2 representam as polarizabilidades de duas moléculas que interagem entre si. Espera-se que moléculas maiores, que contêm mais elétrons e, portanto, possuem maior polarizabilidade, realizem interações intermoleculares de London com maior intensidade. Além disso, a intensidade dessas interações diminui rapidamente com o aumento da distância entre as espécies (interações de curto alcance) (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

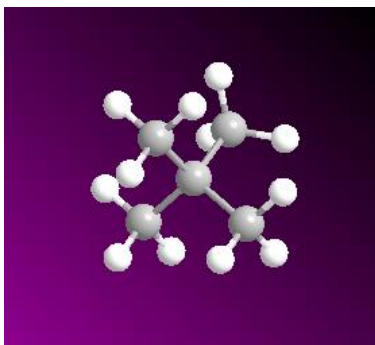
A energia potencial das interações de London e sua eficiência também dependem da geometria (forma) da molécula, sendo um fator que determina a área de contato de interação entre as moléculas que interagem. A quantidade de dipolos induzidos totais que pode ser induzido em uma molécula está diretamente ligada à sua área de contato. O pentano (C_5H_{12}) e o 2,2-dimetilpropano ($C(CH_3)_4$), como observado na FIG. 4 e 5 respectivamente, possuem mesma fórmula molecular e número de elétrons, mas o ponto de ebulição do pentano é superior ao do 2,2-dimetilpropano. Isso se deve ao formato das moléculas de pentano serem alongadas, que podem interagir umas com as outras por uma área de contato maior, por meio de vários dipolos induzidos. Diferentemente, as moléculas de 2,2-dimetilpropano possuem formato esférico, o que impede que os dipolos induzidos se aproximem muito, exceto por uma área de contato muito pequena. Como a energia potencial depende de $\frac{1}{r^6}$, as interações intermoleculares entre as moléculas de 2,2-dimetilpropano são menos intensas (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

Figura 4 – Estrutura molecular do pentano



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5 – Estrutura molecular do 2,2-dimetil-propano



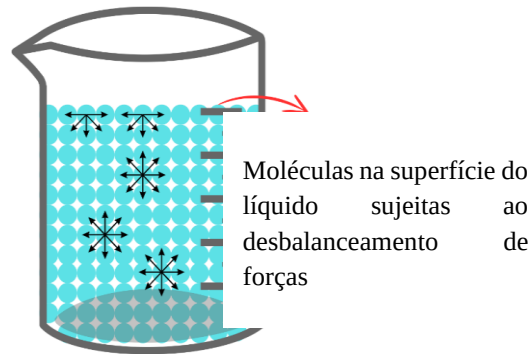
Fonte: Elaborado pela autora

Apesar das forças de London serem de mais curto alcance se comparadas com as interações do tipo dipolo-dipolo, elas podem predominar em alguns casos. Por exemplo: a polaridade do HCl, HBr e HI, segue a ordem $HI < HBr < HCl$ que, portanto, é a ordem de aumento da intensidade das interações do tipo dipolo-dipolo entre moléculas dessas espécies. Isso propõe que o ponto de ebulição dessas substâncias aumente na mesma ordem. Porém, a ordem inversa é observada. Considerando que a polarizabilidade das moléculas aumenta na ordem $HCl < HBr < HI$, que deve ser a mesma ordem para o aumento de intensidade das forças de London, estas devem predominar sobre as interações do tipo dipolo-dipolo, explicando a tendência de aumento do ponto de ebulição observado nas experimentações (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

2.5 TENSÃO SUPERFICIAL

Uma propriedade importante de líquidos que está diretamente associada às interações intermoleculares é a tensão superficial. Ao pensar as moléculas no interior de um líquido, em termos das interações intermoleculares que ela realiza com moléculas vizinhas, tem-se, na média, a atuação de uma força resultante igual a zero sobre elas. Já nas moléculas que estão na superfície do líquido, deve haver uma força resultante que atrai essas moléculas para o interior do líquido, como consequência de essas moléculas não estarem interagindo com outras moléculas em todas as direções (FIG. 6) (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

Figura 6 – Forças que atuam sobre as moléculas localizadas no interior e na superfície de um líquido.



Fonte: Elaborado pela autora

A região superficial (interface) de um líquido é a região em que há contato entre a fase líquida e seu vapor e as moléculas que se encontram nessa região apresentam um conteúdo energético maior do que as moléculas que estão no interior das fases. Visto isso, para aumentar a interface de um líquido é necessário um gasto de energia. A quantidade de energia necessária para aumentar a área superficial de um líquido de uma quantidade unitária é igual à tensão superficial do líquido (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

O gasto de energia necessário para aumentar a área superficial é em grande parte proveniente do rompimento de interações intermoleculares entre as moléculas que estão no interior do líquido, para que essas moléculas se desloquem para a interface, onde farão um número de interações médio menor do que realizavam antes. Assim, quanto mais fortes forem as interações intermoleculares a serem rompidas, maior será a tensão superficial do líquido. Por esse motivo, a tensão superficial da água é bem superior à tensão superficial da maioria dos líquidos do cotidiano, em que interações intermoleculares do tipo ligação de hidrogênio estão presentes entre as moléculas de água (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

2.6 SUPERFÍCIES CURVAS

Com o intuito de minimizar a área da interface, que é uma região de excesso de energia livre por unidade de área comparada às fases, as regiões de contato entre duas fases tendem a adotar formas geométricas específicas, de modo que o número máximo de moléculas fique no interior da fase líquida, interagindo com o máximo de moléculas vizinhas que as envolvem. Por esse motivo as gotículas de um líquido disperso em uma outra fase tendem a apresentar o formato esférico, pois

a esfera é a forma geométrica que apresenta a menor razão entre área superficial e volume (Atkins; Julio, 2018).

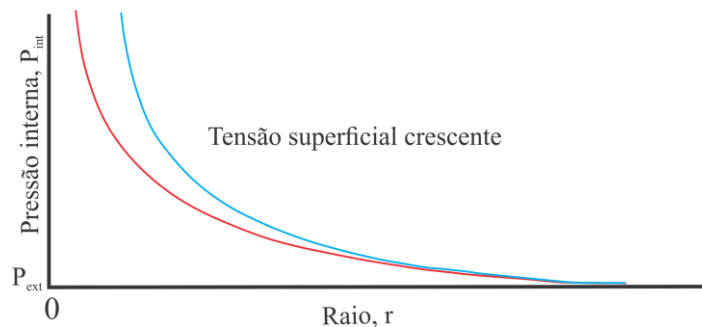
Pelo mesmo motivo, as bolhas de sabão são de formato esférico. Uma bolha é a região em que o vapor está confinado por uma fina película de líquido. Uma região cheia de vapor no seio de um líquido é chamada de cavidade. Dessa forma, geralmente, quando se diz que existem bolhas em um líquido, na realidade, existem cavidades. As cavidades possuem apenas uma superfície, enquanto as bolhas possuem duas superfícies, uma em cada face da película de líquido. Além disso, denomina-se gotícula o acúmulo de um pequeno volume de líquido sobre uma superfície, que se mantém em equilíbrio com vapor, também em formatos esféricos, o que é comum acontecer sobre as folhas das plantas, após o orvalho (Atkins; Julio, 2018).

Uma importante equação no contexto das interfaces esféricas é a equação de Young-Laplace, dada por:

$$p_{int} = p_{ext} + \frac{2\gamma}{r}, \quad (7)$$

em que p_{int} é a pressão no interior da interface (parte côncava) e p_{ext} a pressão no exterior da interface (parte convexa). Essa equação mostra que existe uma diferença de pressão entre as partes interna e externa de uma interface curva, sendo que quanto menor o raio de curvatura da interface, maior será a diferença de pressão. Se o raio de curvatura da superfície tende a infinito (superfície plana), então a diferença das pressões nas duas regiões tende a zero. Em cavidades muito pequenas, com raios de curvatura muito pequenos, a diferença de pressão entre as duas faces da superfície pode ser bem grande. Considerando dois valores distintos de tensão superficial, no GRAF. 2 observa-se a dependência entre a pressão no interior de uma superfície curva (relativa à pressão atmosférica) em função da dimensão do raio de curvatura da interface (Atkins; Julio, 2018).

Gráfico 2 – Pressão interna (relativa à pressão atmosférica) versus raio de curvatura.



Fonte: ADAPTADO, Atkins; Julio (2018, p. 264)

2.7 FILMES SUPERFICIAIS

Filmes superficiais são camadas finas de material (moléculas específicas) formadas na interface entre duas fases. Quando esses filmes possuem espessura de uma única molécula, são chamados de monocamadas. Surfactantes são compostos que frequentemente têm a habilidade de formar filmes superficiais na interface água-ar. O acúmulo de surfactante sobre essa interface modifica a tensão superficial e, conseqüentemente, modifica também a pressão superficial (Equação 7). Essa concentração de excesso que ocorre de um surfactante em uma interface água-ar pode ser compreendida em termos da discussão abaixo.

Consideremos um sistema com X componentes e duas fases α e β que estão em contato, no qual cada fase possui um número de mols determinado de cada componente. Se caso cada componente se distribuisse no sistema de forma uniforme em cada fase, incluindo a interface (hipoteticamente sendo descrita como um plano de área superficial σ), o total de energia livre de Gibbs desse sistema seria a soma da energia livre de Gibbs de cada fase, $G = G(\alpha) + G(\beta)$. Todavia, nem sempre os componentes se distribuem de forma uniforme, podendo acontecer de um deles acumular em uma das fases, ou mesmo na interface. Sendo assim, a soma das energias de Gibbs de cada fase (no sistema hipotético) é diferente de G real e a diferença entre essas quantidades é chamada de energia livre de Gibbs superficial, $G(\sigma) = G - \{G(\alpha) + G(\beta)\}$ (Atkins; Julio, 2018).

Concomitantemente, admitindo uma concentração de um componente “i” se distribuindo uniformemente até a interface, evidencia-se, de acordo com o volume de cada fase, que $n_i(\alpha)$ mol de X estariam na fase α e $n_i(\beta)$ mols de X na fase β . Mas, como um componente do sistema pode acumular na interface, a medida total de mols de “i” é diferente da soma do número de mols em cada fase, e obtém-se $n_i(\sigma) = n_i - \{n_i(\alpha) + n_i(\beta)\}$. Logo, o que se difere é expresso em excesso de concentração superficial, $\Gamma = \frac{n_i(\sigma)}{\sigma}$. Caso o excesso de concentração superficial seja positivo, existe um acúmulo de X na interface, caso seja negativo, existe um déficit de “i” na interface. O balanço de interações intermoleculares do componente “i” com as moléculas na interface e com as moléculas nas fases é um dos principais aspectos que irá determinar se é mais favorável o componente se acumular na interface ou permanecer preferencialmente no interior das fases (Atkins; Julio, 2018).

Diante do exposto, percebe-se que o estudo das forças intermoleculares e sua abordagem no ensino de química requer estratégias didáticas que possibilitem a construção ativa do conhecimento, levando em consideração os diferentes níveis de representação da matéria e as dificuldades conceituais frequentemente encontradas pelos estudantes. O referencial teórico apresentado neste capítulo destacou a importância do ensino por investigação e da modelagem como estratégias que favorecem a compreensão desses conceitos abstratos, permitindo que os alunos desenvolvam habilidades investigativas e aprimorem seu pensamento crítico. A partir dessas bases, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma sequência didática fundamentada no Ensino por Investigação, com o objetivo de tornar o ensino de forças intermoleculares mais acessível e significativo. Nos próximos capítulos, serão apresentadas a justificativa da pesquisa, seus objetivos e os procedimentos metodológicos adotados para a construção da proposta educacional, detalhando a organização das atividades e os critérios utilizados em sua elaboração.

3. JUSTIFICATIVA

O conteúdo de forças intermoleculares é fundamental para a compreensão das propriedades das substâncias, como temperatura de fusão e ebulição, solubilidade, densidade e viscosidade. Também é um conhecimento essencial para compreensão dos processos que ocorrem no universo a nível molecular. Assim, essas interações permeiam diversos campos do conhecimento, fundamentais para o entendimento de fenômenos do dia a dia.

No nível básico, é importante que os estudantes compreendam as propriedades das substâncias e dos materiais em função das interações entre átomos, moléculas ou íons. Eles devem entender os conceitos de temperatura de ebulição e fusão e suas relações com a natureza molecular das substâncias, assim como o conceito de densidade e solubilidade e sua dependência com a temperatura e a natureza da substância. Além disso, é necessário reconhecer que as aplicações tecnológicas das substâncias e materiais estão diretamente relacionadas às suas propriedades, que por sua vez são determinadas pelas interações intermoleculares entre as moléculas que a constituem.

A compreensão desses conceitos, que exigem um nível complexo de abstração, implica no estabelecimento de relações entre os diferentes níveis de representação da matéria: macroscópico, submicroscópico e simbólico. Johnstone (1982), propôs um modelo para explicar essas dimensões do conhecimento químico, que ao longo dos anos foram reorganizadas e atualmente são definidas pelos seguintes níveis: o nível macroscópico/tangível, que se refere ao que é observável e mensurável, descrita por propriedades como cor, odor, densidade e efervescência; o nível submicroscópico/molecular/invisível, que explica os fenômenos e propriedades observados no nível macroscópico usando conceitos abstratos como átomos, íons, moléculas, ligações químicas e interações intermoleculares; e o nível simbólico/matemático, que é a forma usada pelos químicos para representar substâncias e transformações por meio de símbolos e equações convencionados pela comunidade científica (Johnstone, 2009).

Apesar da importância das forças intermoleculares, pesquisas tais como as de Santos; Almeida; Santos Filho, 2020 e Cooper; Williams; Underwood, 2015, indicam que estudantes universitários frequentemente apresentam concepções alternativas sobre esse tópico. A análise das representações feitas por esses alunos revelou confusões entre ligações intramoleculares e interações intermoleculares, e dificuldades em identificar corretamente as forças intermoleculares. Portanto, é essencial utilizar metodologias que considerem os conhecimentos prévios dos alunos e

os coloquem como centro do processo de aprendizagem, promovendo sua evolução conceitual, por meio do ensino por investigação (Sasseron, 2008).

Visto isso, planejou-se um produto educacional para viabilizar a construção de conhecimentos sobre forças intermoleculares, utilizando o ensino por investigação proposto por Ana Maria de Pessoa de Carvalho, como forma de abordar o conteúdo.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma sequência didática para o ensino de forças intermoleculares fundamentada nos referenciais teóricos da educação científica e do Ensino por Investigação.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os referenciais teóricos sobre Ensino por Investigação e educação científica, destacando suas contribuições para o ensino de forças intermoleculares;
- Estruturar uma sequência didática que promova a construção ativa do conhecimento, incentivando a formulação de hipóteses, experimentação e argumentação científica;
- Elaborar estratégias pedagógicas que favoreçam a problematização, a exploração e a contextualização do conceito de forças intermoleculares no ensino de Química;
- Integrar diferentes recursos didáticos na sequência didática, como atividades experimentais, simulações e estudos de caso, para ampliar a compreensão dos fenômenos relacionados às interações intermoleculares.

5. METODOLOGIA

Neste capítulo, é proposto uma descrição dos processos de elaboração de uma SEI, apresentando os fundamentos teóricos que podem ser usados como base para sua construção. A metodologia usada para a elaboração da SEI baseia-se em um processo estruturado, composto por etapas interligadas que se complementam, sendo elas:

I. Etapa 1: Seleção do referencial teórico-metodológico

Para a elaboração da SEI foi escolhida a abordagem metodológica baseada no Ensino Investigativo proposto por Ana Maria Pessoa de Carvalho. Essa autora é vista como uma das principais referências nacionais na área, e uma das bases para elaboração deste trabalho.

II. Etapa 2: Definição dos objetivos de aprendizagem

Nesta etapa, foram determinados os objetivos específicos que se pretende alcançar com a SEI. Para a determinar esses objetivos, há a necessidade de identificar as competências e habilidades que os alunos deverão construir ao decorrer da SD. Então, os objetivos foram atrelados aos fundamentos teóricos-metodológicos da SEI e aos conteúdos de química.

III. Etapa 3: Escolha do tema para contextualizar os conceitos de química, FI

A escolha do tema “resistência da bolha de sabão” envolve a contextualização dos conhecimentos de química na proposta, baseada em questionamentos que se referem ao porquê e como as bolhas de sabão estouram. Pensando nisso, considerando a estrutura microscópica, macroscópica e submicroscópica, a bolha de sabão é composta por um filme superficial, uma fina camada de água entre surfactantes, que interagem entre si.

No produto educacional, é proposto algumas atividades investigativas. Na atividade experimental, os alunos devem preparar soluções a partir de uma solução pré-determinada de água e detergente, e criem outras soluções alterando as concentrações dos componentes, ou até mesmo adicionando glicerina, e contar com o cronômetro quando tempo a bolha de sabão durou sem estourar. Ao adicionar glicerina na solução, observa-se que há um aumento significativo na duração da bolha. Isso porque, ao adicionar esse componente, há o aumento do número de interações

intermoleculares. Além das interações água-água, água-detergente, detergente-detergente, há interações glicerina-água, do tipo ligações de hidrogênio, glicerina-detergente e glicerina-glicerina.

Eles irão realizar experimentos baseados nas hipóteses que foram propostas por eles anteriormente.

Todas as atividades ao longo da sequência didática trabalham com as ideias prévias que os próprios estudantes abordam na sala de aula para construção dos conhecimentos sobre as forças intermoleculares, pensando no “por que?” e no “como”.

IV. Etapa 4: Escolha dos conceitos químicos

A seleção dos conceitos abordados na SEI foi embasado na identificação de concepções alternativas destacadas por Cooper, Williams e Underwood (2015). No estudo desses autores, é evidenciado que a maior parte dos alunos que participaram da pesquisa consideram que as forças intermoleculares ocorrem entre átomos de uma mesma molécula e não entre moléculas, não existindo diferenças significativas entre as ligações intermoleculares e intramoleculares. Dentre os 94 alunos, somente 15% (14 alunos) indicaram corretamente que a ligação de hidrogênio ocorre entre moléculas separadas. Dos 14 estudantes, somente nove estavam corretos ao identificar que a interação da ligação de hidrogênio entre um hidrogênio (ligado a um oxigênio) em uma molécula e um oxigênio em outra molécula.

Em uma análise de periódicos nacionais e internacionais (Miranda; Braibante e Pazinato, 2017) identificou-se outros equívocos sobre forças intermoleculares cometidos pelos alunos, podendo-se destacar: a intensidade das forças intermoleculares é maior que as ligações intramoleculares; toda molécula que possui átomo de hidrogênio pode interagir por ligação de hidrogênio; a intensidade da ligação de hidrogênio é referente a quantidade de átomos de hidrogênio que a molécula possui.

Os conceitos relacionados às forças intermoleculares estão atrelados a diversos assuntos relevantes, pontos de fusão e ebulição, mudanças de estado físico das substâncias, propriedades específicas de substâncias (por exemplo: água). Nesse sentido, houve um direcionamento em adicioná-los a SEI.

V. Etapa 5: Seleção e elaboração das atividades

Com isso, foram elaboradas atividades que serão abordadas ao longo da sequência didática. Essas atividades foram selecionadas e planejadas para promover a investigação ativa dos alunos sobre os conceitos de forças intermoleculares relacionadas às bolhas de sabão.

Essas etapas de construção da SEI, visam o planejamento detalhado e aprofundado da SD, que fornece uma base para a abordagem pedagógica, alinhada aos referenciais que fundamentam o trabalho.

No próximo capítulo, será apresentado o produto educacional desenvolvido a partir dessa metodologia, detalhando suas características, estrutura e aplicação no ensino de forças intermoleculares.

6. PRODUTO EDUCACIONAL

O ensino de química exige abordagens inovadoras que possibilitem aos alunos relacionarem conceitos abstratos a fenômenos do cotidiano. Nesse contexto, a Sequência de Ensino por Investigação (SEI) desenvolvida neste trabalho propõe uma abordagem didática que favorece a construção do conhecimento sobre forças intermoleculares de maneira interativa e contextualizada. A partir da experimentação e da problematização, os estudantes são desafiados a formular hipóteses, testar suas ideias e construir explicações científicas sobre os fenômenos observados. Neste capítulo, será detalhado o produto educacional elaborado, suas atividades, os fundamentos teóricos que o sustentam e sua aplicação no ensino de química.

6.1 PANORAMA GERAL DO PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO (SEI)

O planejamento detalhado de uma Sequência de Ensino por Investigação (SEI) é essencial para garantir sua eficiência e proporcionar uma aprendizagem significativa aos estudantes. Dessa forma, nesta seção, são descritas as etapas e estratégias que compõem a SEI, enfatizando o papel do professor como mediador no processo de construção do conhecimento.

A sequência foi organizada em quatro aulas, estruturadas de forma progressiva para estimular a formulação de hipóteses, a experimentação, a argumentação científica e a sistematização dos conceitos. Cada etapa do planejamento está apresentada nos QUADROS 3, 4, 5 e 6, que sintetizam os objetivos e abordagens adotadas em cada aula.

Quadro 3 – Etapas da aula 1

Aula	Momento	Objetivos	Tipo de abordagem
1ª aula	1º) No primeiro momento o professor deve organizar a turma em grupos de acordo com seu tamanho. Então, apresentar a seguinte questão problema: "Como fazer uma bolha de sabão que	Trabalhar a questão problema	Interativa/dialógica

	possa durar mais tempo sem estourar?" Junto a folha de atividade 1		
	2º) Após a apresentação da questão problema, o professor deve perguntar as hipóteses para a resolução do problema.	Analisar e levantar hipóteses. Trabalhar os conhecimentos prévios dos alunos	Interativa/dialógica
	3º) Nesse momento, será proposto um campeonato de bolhas. Os alunos, em grupos, deverão disputar qual grupo faz a bolha que fique mais tempo sem estourar.	Apresentar o campeonato e a proposta das bolhas de sabão	Interativa/dialógica
	4º) Os alunos serão solicitados a levantar hipóteses sobre porque uma bolha dura mais ou menos tempo sem estourar, pensando na composição utilizada por eles.	Investigar os motivos para uma bolha durar mais ou menos tempo sem estourar	Interativa/dialógica

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 4 – Etapas aula 2

Aula	Momento	Objetivos	Tipo de abordagem
2ª aula	1º) Será retomada as ideias centrais do experimento e hipóteses propostas pelos alunos sobre o problema.	Discutir sobre as possíveis diferenças entre o previsto e o observado	Interativa/dialógica

	2º) Em seguida o professor deve entregar a folha de atividade 2 e trabalhar como as partículas se comportam macroscopicamente	Incentivar os alunos a pensarem no comportamento das partículas	Interativa/dialógica
	3º) Então, os alunos deverão entrar em um consenso, através da argumentação, de qual explicação da questão problema é a mais aceita	Trabalhar as respostas da folha de atividade 2	Interativa/dialógica

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 5 – Etapas da aula 3

Aula	Momento	Objetivos	Tipo de abordagem
3ª aula	1º) Entrega e discussão da folha de atividade 3. Nesse momento o professor utiliza modelos das moléculas trabalhadas	Observação e entendimento das semelhanças entre as três estruturas trabalhadas, que seria a presença de átomos de oxigênio e hidrogênio	Interativa/dialógica
	2º) Mediação acerca dos conceitos de interações intermoleculares, utilizando representações das interações que ocorrem entre as moléculas	Construção de conceitos sobre interações intermoleculares	Interativa/de autoridade

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 6 – Etapas da aula 4

Aula	Momento	Objetivos	Tipo de abordagem
4ª aula	1º) Entrega da folha de atividade 4. Após a entrega o professor deve levantar as hipóteses dos alunos com a pergunta: "pensando nas bolhas de detergente, como vocês explicam seu formato redondo?"	Iniciar a contextualização sobre o formato da bolha	Interativa/dialógica
	2º) Leitura do texto complementar 1 com os alunos, por meio da folha impressa	Construção de conceitos sobre o porquê do formato da bolha	Interativa/de autoridade
	3º) Levantamento de hipóteses dos alunos sobre a pergunta: "Como você explicaria a tonalidade iridisada (arco-íris) que uma bolha de detergente possui?"	Contextualização sobre as cores observadas na bolha	Interativa/dialógica
	4º) Leitura do texto complementar 2, por meio da folha impressa	Construção de conceitos sobre o porquê das cores observadas na bolha	Interativa/de autoridade

Fonte: Elaborado pela autora

6.2 DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO DA SEI: ETAPAS FUNDAMENTAIS

Nesta seção, serão apresentadas as etapas primordiais para o desenvolvimento da SEI. Detalhamos as etapas, e seus principais pontos que devem ser considerados para o seu planejamento e desenvolvimento. Essas etapas devem ser norteadoras para o professor, considerando que a SD deve ser adaptada de acordo com as características específicas de cada turma e série, atendendo as necessidades individuais e respeitando a realidade e recursos de cada cenário. Ainda assim, recomenda-se que os alunos sejam dispostos em grupo, a fim de incentivar a participação ativa e interação entre os alunos no seu aprendizado.

6.2.1 Aula 1 – *Campeonato de bolhas*

De acordo com Carvalho (2018), uma Sequência de Ensino por Investigação (SEI) deve começar com uma questão-problema contextualizada, que pode ser teórica ou experimental, para estimular a curiosidade dos alunos e incentivá-los a formular hipóteses. Essa abordagem coloca os estudantes no centro do processo de aprendizagem, permitindo que desenvolvam habilidades científicas fundamentais, como argumentação, experimentação e análise crítica.

Nesta primeira aula, a investigação será conduzida a partir do seguinte questionamento: “Como fazer uma bolha de detergente que possa durar mais tempo sem estourar?”. O professor deve organizar os alunos em grupos e entregar a Folha de Atividade 1 (FIG. 7), na qual os estudantes devem registrar suas hipóteses iniciais sobre os fatores que podem influenciar a durabilidade das bolhas de sabão.

Figura 7 – Folha de atividade 1

Folha de atividade 1 Nomes:

Como fazer uma bolha que dure mais tempo sem estourar?		
Anote suas hipóteses		
Parte experimental Materiais: • Água • Conta gotas • Detergente • Colher • Béquer Glicerina • Cronômetro • Bolha de sabão		
Procedimento		
1) Use a composição indicada como "M0" para seu primeiro teste e anote o tempo em que a bolha durou sem estourar. 2) Para M1 e M2 faça de acordo com suas hipóteses apresentadas na questão anterior.		
Anotações		
Mistura Padrão (M0)	Observações	Tempo

20 mL de detergente 60mL de água		
Mistura 1 (M1) Composição:		
Mistura 2 (M2) Composição		

Antes de iniciar o experimento, o professor deve estimular o diálogo e incentivar os alunos a explicarem suas ideias com base no que já sabem. Para isso, pode utilizar algumas perguntas norteadoras, como: “O que vocês já sabem sobre bolhas de sabão?”, “Quais fatores vocês acham que influenciam o tempo que a bolha dura sem estourar?” e “Como poderíamos testar essas ideias?”. Segundo Mortimer e Scott (2002), a abordagem comunicativa interativa-dialógica desempenha um papel essencial nessa fase, pois permite que os alunos expressem diferentes pontos de vista, negociem significados e construam conhecimento coletivamente. O professor deve atuar como mediador, garantindo que todos participem ativamente da discussão sem fornecer respostas prontas.

Após essa etapa inicial, os alunos devem anotar suas hipóteses na folha de atividade e se preparar para a experimentação. Com as hipóteses registradas, os grupos participarão do Campeonato de Bolhas, um momento investigativo no qual testarão suas ideias por meio da experimentação. Os materiais disponíveis para a atividade incluem: água, detergente, glicerina, béqueres, colheres e brinquedos de bolha de sabão

Cada grupo iniciará o experimento utilizando uma mistura padrão (M0), composta por 20 mL de detergente e 60 mL de água. A tarefa consiste em formar uma bolha e cronometrar o tempo que ela dura sem estourar, registrando tanto o tempo de duração quanto as características físicas observadas. Após esse primeiro teste, os alunos farão duas novas misturas (M1 e M2), modificando a composição de acordo com suas hipóteses, adicionando ou reduzindo a quantidade de água, detergente e glicerina.

Nessa fase, é fundamental que o professor não interfira diretamente nas decisões dos alunos, permitindo que eles experimentem diferentes combinações e cheguem a suas próprias conclusões. Esse momento caracteriza uma aula de grau de liberdade 4, conforme Carvalho (2018), pois os estudantes assumem a responsabilidade por propor, testar e avaliar suas hipóteses.

Após a realização dos testes e o registro dos resultados, o professor deve organizar um momento de discussão coletiva, onde os alunos compartilham suas observações e comparam suas hipóteses iniciais com os dados obtidos. Para orientar esse debate, o professor pode utilizar perguntas como: “Os resultados corresponderam às suas expectativas? Por quê?”, “Qual mistura durou mais tempo? O que ela tinha de diferente?”, “Vocês mudariam alguma coisa no experimento? O que fariam diferente?” e “O que podemos concluir sobre os fatores que influenciam a resistência das bolhas?”. Essa fase é essencial para que os estudantes desenvolvam a capacidade argumentativa e negociem significados entre si, conforme proposto pelo referencial sociointeracionista de Mortimer e Scott (2002).

Durante essa análise, o professor deve evitar a introdução imediata de conceitos científicos complexos, como “forças intermoleculares”. Em vez disso, deve incentivar os alunos a descreverem suas observações com palavras próprias, utilizando expressões como “as moléculas estão mais conectadas”, “a bolha ficou mais resistente” ou “a substância X ajudou a segurar mais tempo”. Somente nas aulas seguintes, após o processo de investigação e argumentação, os conceitos científicos serão formalizados e sistematizados.

Com essa abordagem, a atividade se alinha ao Ensino por Investigação, pois incentiva os alunos a formular, testar e discutir suas próprias ideias antes da introdução dos conceitos formais. Além disso, fortalece a mediação do professor como facilitador do diálogo e da construção do conhecimento, em vez de ser apenas um transmissor de informações. Ao integrar os referenciais teóricos de Carvalho (2018) e Mortimer e Scott (2002), a atividade torna-se mais interativa, crítica e envolvente, promovendo uma aprendizagem mais significativa para os estudantes.

Em seguida do primeiro teste, cada grupo terá mais 2 tentativas (M1 e M2) de novas composições para criarem uma bolha que dure mais tempo que a M0 sem estourar, pensamos nas ideias propostas por eles. Os alunos poderão adicionar ou diminuir a quantidade de detergente e/ou água, e, poderão adicionar glicerina à mistura. É importante que o professor não interfira nessa etapa e deixe com que os alunos testem suas hipóteses. Nesse momento, o professor deve conduzir

a aula e orientar aos alunos as dúvidas sobre o experimento, manuseio dos materiais, caracterizando uma aula de grau de liberdade 4 (Carvalho, 2018).

No momento do campeonato de bolhas, é imprescindível que o professor oriente os alunos de forma correta e certifique-se que os alunos entenderam o procedimento. Para que os alunos consigam fazer as bolhas de sabão, é interessante que o professor leve o brinquedo de bolhas de sabão ou algo semelhante, conforme representado pela FIG. 8.

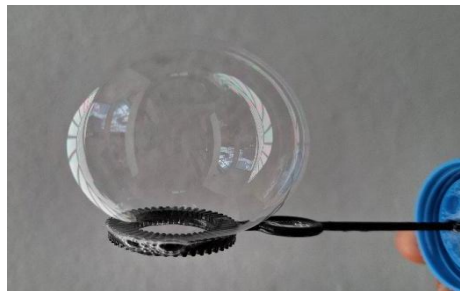
Figura 8 – Brinquedo de fazer bolhas de sabão



Fonte: Elaborado pela autora

Com os objetos necessários, o professor deve instruir os alunos de forma que eles possam fazer a bolha corretamente para o campeonato de bolhas. Quando os alunos soprarem para formar a bolha e ela se formar, o aluno deve encostar o objeto na bolha (FIG. 9) com o intuito de prendê-la, dessa forma ela não fica suspensa no ar, e a partir desse momento o estudante deve começar a cronometrar o tempo em que ela dura sem estourar. Caso a bolha fique suspensa no ar, ela pode colidir com paredes e/ou objetos que favoreçam o rompimento, interferindo no experimento e no tempo de vida da bolha. Assim, minimiza possíveis erros.

Figura 9 – Representação da bolha presa



Fonte: Elaborado pela autora

Após todos os alunos terminarem de realizar os testes e anotarem suas observações, o professor deve guardar os materiais para que esses objetos não sejam distração para os alunos na próxima etapa, e recolher a folha de atividade 1.

6.2.2 Aula 2 – Trabalhando as ideias dos estudantes

Dando continuidade ao processo investigativo iniciado na aula anterior, a Aula 2 tem como objetivo aprofundar a análise dos experimentos realizados pelos alunos, promovendo reflexões sobre os fatores que influenciam a resistência das bolhas de sabão. Para isso, o professor deve entregar a Folha de Atividade 2 (FIG. 10), que contém questões direcionadas à interpretação dos resultados experimentais e à construção de modelos explicativos sobre o comportamento das partículas na estrutura da bolha. A mediação do professor é fundamental para que os alunos desenvolvam autonomia investigativa, conectando os fenômenos observados no nível macroscópico às interações entre partículas no nível submicroscópico. Como apontam Mortimer e Scott (2002), o professor deve adotar uma abordagem interativa-dialógica, permitindo que diferentes ideias sejam expressas e discutidas, sem oferecer respostas prontas.

Figura 10 – Folha de atividade 2

Folha de atividade 2
Nomes:
Referente a prática realizada em sala de aula, responda:
1) Considerando a composição da bolha que durou mais tempo, o que você acredita que possa ter sido o motivo que aumentou o tempo de duração da bolha?

2) Pensando no comportamento das partículas que constituem a bolha, represente como elas se comportam em cada uma das misturas que você utilizou M0 M1 M2
3) Como as partículas da bolha mais resistente se comportam?
4) Ainda pensando no comportamento das partículas, por que a bolha estoura? Justifique

A primeira pergunta da Folha de Atividade 2 leva os alunos a investigar o que alterou a durabilidade da bolha. O professor deve estimular a análise crítica das composições testadas, promovendo a discussão entre os grupos para identificar quais misturas apresentaram maior resistência e quais fatores podem ter contribuído para isso. Para orientar essa etapa investigativa, o professor pode questionar os alunos sobre o que esperavam que acontecesse, se os resultados corresponderam às suas expectativas, quais misturas apresentaram características semelhantes e quais foram diferentes. O professor deve evitar fornecer respostas diretas, incentivando os estudantes a formularem suas próprias explicações e argumentar com base nos dados coletados. Segundo Carvalho (2018), essa abordagem se encaixa em uma aula de grau de liberdade 4, na qual os alunos têm autonomia para levantar hipóteses e propor interpretações, enquanto o professor atua como mediador do processo.

A segunda questão da atividade propõe que os alunos desenhem como imaginam o comportamento das partículas em cada uma das misturas utilizadas no experimento. Essa etapa é essencial para que os estudantes consigam transitar entre os diferentes níveis de representação do conhecimento químico, conforme o modelo de Johnstone (1982, 2009). O nível macroscópico refere-se ao que os alunos observaram diretamente nos experimentos, como o tempo de duração e

resistência das bolhas. O nível submicroscópico explica como as partículas podem estar interagindo entre si para influenciar a resistência da bolha. Já o nível simbólico representa essas interações visualmente ou matematicamente. Essa abordagem permite que o professor compreenda como os alunos interpretam as interações intermoleculares e, assim, identifique concepções alternativas que possam interferir no aprendizado. Estudos como os de Miranda, Pazinato e Braibante (2018) indicam que muitos alunos confundem ligações químicas intramoleculares com forças intermoleculares, o que pode dificultar a compreensão dos fenômenos envolvidos. Para incentivar a representação das partículas de maneira autônoma, o professor deve evitar fornecer modelos prontos e, em vez disso, fazer perguntas que levem os alunos a refletirem sobre como imaginam que as partículas se comportam dentro da bolha, qual a diferença no arranjo entre uma bolha resistente e uma bolha frágil e como essa diferença pode ser representada graficamente. Dessa forma, os alunos são levados a formular e testar suas próprias concepções, um aspecto fundamental do Ensino por Investigação.

A terceira questão da atividade busca levar os alunos a pensarem criticamente sobre o papel das interações intermoleculares na estabilidade das bolhas. Neste momento, os estudantes devem relacionar suas observações com as representações elaboradas anteriormente. O professor pode guiar a reflexão perguntando o que acontece com as partículas quando a bolha é mais resistente, se algumas misturas deixaram a bolha mais firme e por quê, e o que pode ter acontecido no nível das partículas para que a bolha durasse mais tempo. A ideia central dessa etapa é permitir que os alunos elaborem um modelo mental sobre o que está acontecendo no nível submicroscópico, aproximando-se gradativamente do conceito de forças intermoleculares, sem que o professor apresente o termo formalmente neste momento.

A última questão da atividade direciona os alunos para um dos conceitos centrais da unidade: o rompimento das interações intermoleculares. Para responder à pergunta, os estudantes precisarão integrar suas hipóteses anteriores com as discussões realizadas ao longo da aula. Um aspecto essencial a ser trabalhado nessa fase é a ideia de que a bolha se rompe quando as interações entre as moléculas são desfeitas, seja por evaporação da água, seja por alterações na estrutura da mistura. Essa reflexão é fundamental para que os alunos percebam que a resistência da bolha está diretamente ligada à força das interações entre suas partículas. O professor pode incentivar essa discussão perguntando o que acontece no nível das partículas quando a bolha estoura, qual a relação entre a estabilidade da bolha e as interações entre as moléculas, e se a bolha estável tem partículas

mais conectadas, o que acontece com essa conexão quando a bolha se desfaz. Essa questão é estratégica porque ajuda a desconstruir concepções errôneas identificadas por pesquisas como as de Miranda, Pazinato e Braibante (2018), que apontam que muitos estudantes acreditam que a mudança de estado físico rompe ligações intramoleculares, quando na verdade são as forças intermoleculares que se desfazem. A aula termina com os alunos registrando suas respostas e o professor recolhendo as folhas de atividade para análise posterior.

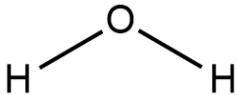
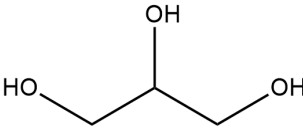
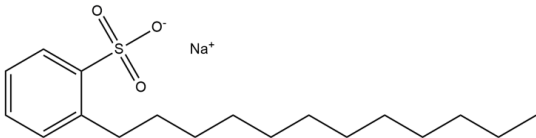
A estrutura da Aula 2 reforça a abordagem investigativa ao incentivar os alunos a formular hipóteses, representar o comportamento das partículas e discutir criticamente suas ideias. Com base nos referenciais teóricos de Carvalho (2018), Mortimer e Scott (2002) e Johnstone (2009), a atividade promove um ensino dialógico e interativo, no qual os estudantes constroem ativamente o conhecimento a partir de suas próprias observações. Além disso, essa aula estabelece uma base essencial para a introdução formal dos conceitos de forças intermoleculares nas aulas seguintes, garantindo que os alunos compreendam as conexões entre o que observaram experimentalmente e o que será apresentado conceitualmente.

6.2.3 Aula 3 - Modelos e Representações das Interações Intermoleculares

Após a análise experimental realizada na Aula 1 e a reflexão investigativa conduzida na Aula 2, a Aula 3 tem como objetivo aprofundar a compreensão dos alunos sobre a estrutura molecular dos componentes envolvidos na formação das bolhas de sabão. O foco desta etapa é permitir que os estudantes relacionem a composição química das substâncias utilizadas (água, detergente e glicerina) com suas propriedades no nível submicroscópico, favorecendo a construção de modelos explicativos sobre as interações intermoleculares.

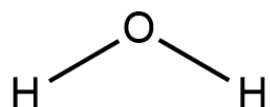
Para iniciar a aula, o professor deve entregar a Folha de Atividade 3 (FIG. 11), que apresenta as estruturas químicas das substâncias analisadas. A atividade propõe questões investigativas que direcionam os alunos a identificar padrões estruturais entre as moléculas, analisar suas propriedades de polaridade e inferir sobre o comportamento dessas partículas no experimento realizado anteriormente. De acordo com Carvalho (2018), o Ensino por Investigação deve estimular os alunos a levantarem hipóteses e construir explicações baseadas em evidências experimentais. Assim, nesta aula, a mediação do professor deve ser predominantemente interativa-dialógica no início, conduzindo gradualmente a um discurso interativo com maior autoridade à medida que os conceitos científicos são introduzidos (Mortimer & Scott, 2002).

Figura 11 - Folha de atividade 3

Folha de atividade 3		
Nomes:		
Água	Glicerina	Detergente
		
1) A partir das estruturas químicas apresentadas na figura, identifique o que há em comum entre elas.		
2) Vocês já ouviram falar sobre polaridade das moléculas? Identifique qual a parte polar e apolar das três moléculas apresentadas.		
3) Pensando na polaridade das moléculas, como vocês acham que as partículas se comportam?		
4) Faça uma recapitulação com seu grupo dos componentes das misturas referentes: (1) à bolha que durou mais; e (2) à bolha que durou menos. Logo em seguida, pensando no comportamento das partículas e após identificar o que há de comum entre as estruturas químicas, explique como essas moléculas se comportam na bolha que durou mais (1)? E na que durou menos (2)?		

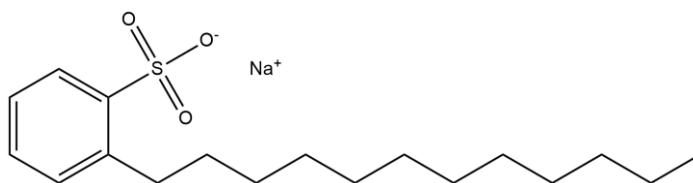
A primeira questão da atividade convida os alunos a identificarem características comuns entre as três moléculas apresentadas: água, detergente e glicerina. A análise dessas estruturas permitirá que os estudantes percebam a presença de grupos funcionais semelhantes, como os átomos de oxigênio e hidrogênio, responsáveis por interações intermoleculares específicas. As FIG. 12, 13, 14, ilustram as estruturas químicas dessas moléculas, permitindo que os alunos visualizem a composição e comparem semelhanças estruturais entre elas. A segunda questão explora o conceito de polaridade molecular, incentivando os alunos a classificarem as regiões polares e apolares das substâncias representadas. O professor deve evitar fornecer respostas diretas e, em vez disso, estimular os estudantes a refletirem sobre suas observações anteriores e relacioná-las com o comportamento das moléculas no experimento.

Figura 12 – Fórmula estrutural da água



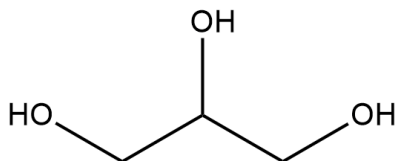
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 13 – Fórmula estrutural do surfactante



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 14 – Fórmula estrutural da glicerina

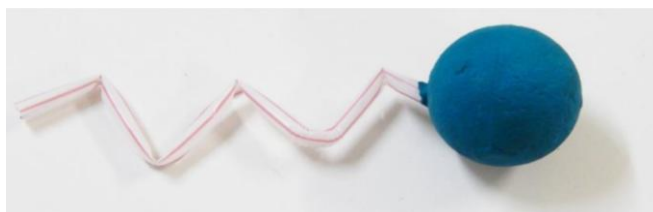


Fonte: Elaborado pela autora

Para tornar o aprendizado mais concreto, o professor pode utilizar modelos físicos das moléculas representadas. Sugere-se que sejam confeccionadas representações tridimensionais utilizando esferas de isopor e canudos coloridos para simbolizar as diferentes regiões das moléculas. No caso do detergente (surfactante), a parte polar pode ser representada por uma esfera

de isopor, enquanto a parte apolar pode ser ilustrada por um canudo dobrado e colado à esfera, como demonstrado na FIG.15. A molécula de água pode ser construída com três esferas, diferenciando os átomos de hidrogênio e oxigênio por cores específicas, como apresentado na FIG. 16. A glicerina pode ser modelada utilizando esferas adicionais para representar os átomos de carbono, oxigênio e hidrogênio, mantendo a coerência visual entre os modelos, conforme a FIG.17. Essa abordagem facilita a visualização da interação entre as moléculas, permitindo que os alunos compreendam a relação entre estrutura e comportamento molecular.

Figura 15 – Representação de um surfactante, a esfera é a parte polar e as curvas a parte apolar.



Fonte: MARQUES, D. M. 2019, p.93

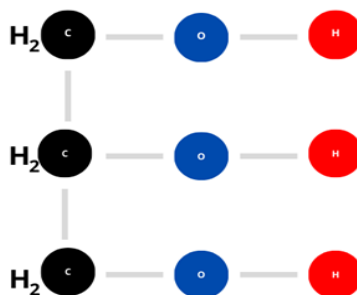
Figura 16 – Representação de uma molécula de água.



Fonte: MARQUES, D. M. 2019, p.90

Diante disso, a terceira questão leva os alunos a refletirem sobre o comportamento das partículas em cada mistura testada, relacionando a estrutura das moléculas com sua capacidade de interação. Nesse momento, o professor pode introduzir a ideia de que as moléculas não estão apenas presentes na solução, mas interagem entre si por meio de diferentes tipos de forças intermoleculares. No entanto, é importante que o termo "forças intermoleculares" ainda não seja explicitamente utilizado. O professor deve continuar promovendo a construção coletiva do conhecimento, questionando os alunos sobre como as moléculas poderiam se "conectar" entre si e como essas conexões podem influenciar a resistência da bolha.

Figura 17 – Representação da molécula de glicerina.

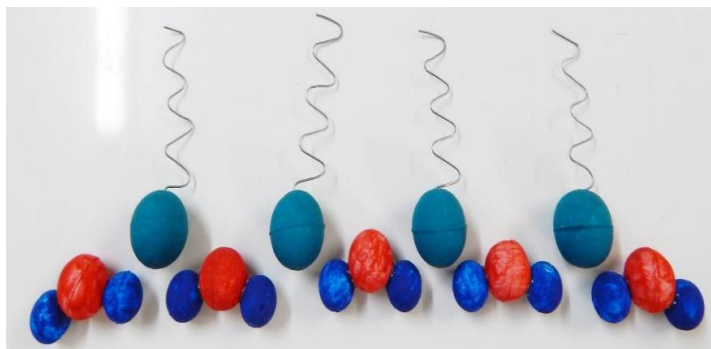


Fonte: Elaborado pela autora

A quarta questão proposta na atividade conduz os alunos a revisarem suas observações experimentais e correlacionarem as diferenças nas misturas utilizadas com as interações entre as moléculas. Essa etapa é essencial para consolidar a compreensão de que a adição da glicerina aumenta a resistência da bolha, promovendo um maior número de interações intermoleculares. O professor deve orientar a discussão de forma investigativa, permitindo que os alunos construam suas conclusões antes da formalização dos conceitos científicos. Nesse momento, segundo a abordagem interativa-dialógica proposta por Mortimer e Scott (2002), o professor deve incentivar a participação dos estudantes, promovendo argumentações e reflexões que possibilitem um entendimento mais aprofundado sobre o fenômeno observado. Conforme o processo investigativo avança, o discurso do professor torna-se progressivamente mais interativo com autoridade, guiando os alunos na compreensão das ligações intermoleculares envolvidas.

Com base nas respostas e representações feitas pelos alunos, o professor pode apresentar modelos visuais das interações intermoleculares que ocorrem na estrutura da bolha de sabão. A primeira abordagem deve focar nas interações entre a água e o surfactante, destacando que a parte polar do detergente interage com as moléculas de água por meio de ligações de hidrogênio, conforme ilustrado na FIG.18. Posteriormente, a explicação pode ser ampliada para incluir a glicerina, demonstrando que essa substância estabelece novas interações intermoleculares, aumentando a coesão do sistema. O uso de modelos físicos ou ilustrações facilita a compreensão do comportamento das moléculas e permite aos alunos visualizarem como essas interações contribuem para a estabilidade da bolha.

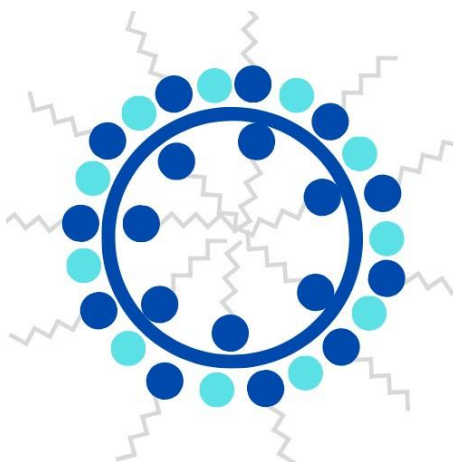
Figura 18 – Representação da parte polar das moléculas do surfactante interagindo com as moléculas de água



Fonte: MARQUES, D. M. 2019, p. 94

Após a mediação das interações entre as moléculas de água e a parte polar das moléculas do surfactante, o professor deve ampliar a discussão para as interações intermoleculares entre as três substâncias presentes no sistema: água, glicerina e surfactante. A FIG.19 ilustra um modelo representativo dessas interações, onde as moléculas de glicerina (esferas azul-claras), as moléculas de água (círculo maior em azul escuro) e o surfactante (estrutura com uma esfera azul escura e uma parte cinza em zigue-zague) demonstram as conexões estabelecidas no sistema. Para melhor visualização, o professor pode utilizar modelos tridimensionais que representem essas interações, reforçando o papel das forças intermoleculares na formação e resistência da bolha

Figura 19 – Representação da distribuição e interações entre água e surfactante.



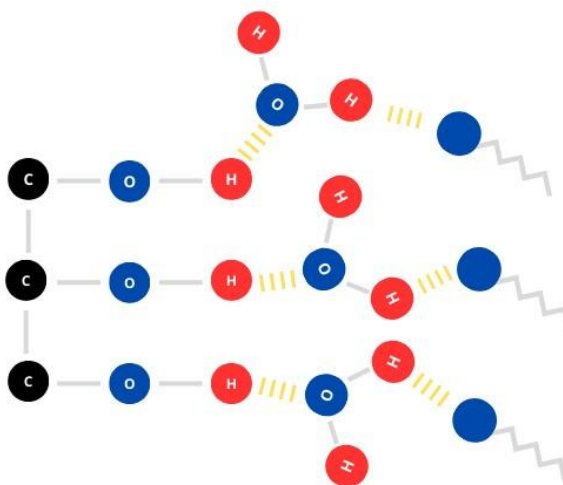
Fonte: Adaptado de MARQUES, D. M. 2019, p.96

Nesse momento, o professor pode introduzir formalmente o conceito de interações intermoleculares, explicando que a “conexão” entre as moléculas é resultado de diferentes forças intermoleculares que variam conforme a composição química das substâncias envolvidas. Para aprofundar essa explicação, é necessário destacar que, devido às variações na distribuição dos elétrons e dipolos momentâneos, a parte apolar da glicerina e do surfactante interagem entre si por meio das interações de dispersão (ou interações de London). Além disso, a interação dipolo-dipolo ocorre entre moléculas polares, como água e glicerina, e a ligação de hidrogênio, sendo uma das interações mais fortes, predomina no sistema devido à presença de grupos O-H nas três substâncias. A FIG.20 representa essas interações intermoleculares dentro da bolha, permitindo que os alunos visualizem a organização molecular que confere maior resistência ao sistema. átomos que as formam.

Como enfatizado por Atkins (2018), a ligação de hidrogênio se destaca entre as interações intermoleculares por ser um fenômeno de contato que depende da sobreposição de orbitais. No contexto da bolha de sabão, essa interação desempenha um papel fundamental na estabilidade do filme líquido, pois sua presença aumenta a coesão entre as moléculas e reduz a taxa de evaporação da água, prolongando a vida útil da bolha. Assim, ao adicionar glicerina à mistura, há um aumento significativo no número de interações intermoleculares do tipo ligação de hidrogênio, tornando a bolha mais resistente.

Durante essa discussão, o professor deve enfatizar que todas as partículas estão em constante movimento e que a estabilidade da bolha resulta do equilíbrio dinâmico entre as forças intermoleculares e as forças externas que atuam sobre ela. Além disso, é essencial que o docente reforce a importância da modelagem científica para representar fenômenos microscópicos e facilitar a compreensão dos conceitos envolvidos. Segundo Justi e Gilbert (2016), o uso de modelos no ensino de ciências permite que os alunos desenvolvam habilidades cognitivas essenciais para a compreensão da realidade molecular e aprimorem suas capacidades de argumentação científica.

Figura 20 – Representação das interações intermoleculares que ocorrem em uma bolha de detergente com glicerina



Fonte: Representação autoral

Por fim, essa aula cumpre um papel essencial na SEI, pois permite que os alunos relacionem suas experiências experimentais às explicações científicas sobre as forças intermoleculares. A construção gradual do conhecimento, iniciada na Aula 1 com a experimentação e aprofundada na Aula 2 com a problematização das ideias dos alunos, culmina aqui na formalização dos conceitos científicos. Dessa forma, o professor deve recolher a Folha de Atividade 3 após a discussão e reforçar a importância das interações intermoleculares para compreender fenômenos cotidianos, como a formação e a resistência das bolhas de sabão. Esse momento de síntese é fundamental para consolidar o aprendizado e preparar os alunos para as próximas etapas da sequência didática.

6.2.4 Aula 4 – Contextualização

A Aula 4 tem como principal objetivo contextualizar os conhecimentos construídos nas aulas anteriores, promovendo uma reflexão mais ampla sobre os fenômenos observados no experimento investigativo. Para isso, o professor inicia a aula questionando os alunos sobre o formato esférico das bolhas de sabão e as cores refletidas em sua superfície, utilizando a Folha de Atividade 4 (FIG.21) Diferentemente das aulas anteriores, essa atividade deve ser realizada individualmente, pois se espera que os alunos já tenham consolidado parte do conhecimento necessário para responder às questões propostas.

Figura 21 – Folha de atividade 4

Folha de atividade 4	
Nomes:	

1) Afinal, como explicar o formato das bolhas?

2) Como você explicaria a tonalidade de arco-íris (iridisada) que uma bolha de detergente possui?

Inicialmente, os alunos são convidados a levantar suas hipóteses sobre as perguntas da atividade, reforçando a abordagem investigativa e permitindo que expressem suas ideias livremente. Para embasar suas respostas, o professor entrega o Texto Complementar 1 (FIG.22), que aborda a tensão superficial da água e a influência do detergente na formação da bolha. A leitura desse material deve ser feita pelos próprios alunos, e o professor pode escolher diferentes alunos para realizá-la em voz alta, garantindo o envolvimento de todos.

Figura 22 – Texto de contextualização 1

Texto de contextualização 1

“Ao tentarmos fazer bolhas apenas com água, notamos que há uma dificuldade, isso porque as moléculas de água interagem umas com as outras com uma força intermolecular muito forte, a ligação de hidrogênio. O oxigênio de uma molécula de H_2O é atraído pelo hidrogênio de outra molécula de água. Assim, é muito difícil separar essas moléculas para formar uma bolha. As moléculas que se situam na superfície da água exercem essa atração apenas com moléculas abaixo e ao lado delas, pois não existem moléculas na parte de cima. Isso origina a chamada tensão superficial, que é uma fina camada sobre a superfície da água. A fim de diminuir essa superfície ao mínimo e ficar mais estável, a bolha adquire o formato esférico, com menor área de superfície e volume. Quando adicionamos o detergente, ele diminui a tensão superficial da água, por isso é chamado de agente tensoativo ou surfactante. As moléculas do detergente interagem com as moléculas de água que restaram, separando-as e mantendo a bolha. No entanto, com o passar do tempo, a água da bolha vai evaporando até que ela estoure.”

Fonte: Santos, 2017, p. 1

O professor, então, conduz a mediação da discussão sobre o formato esférico das bolhas. Segundo Atkins (2018), os líquidos tendem a adotar formas geométricas que minimizem sua área superficial, garantindo maior estabilidade. No caso das bolhas, essa forma é a esfera, pois apresenta a menor razão entre área superficial e volume. Esse conceito está diretamente relacionado à tensão superficial, que atua nas moléculas da superfície do líquido, exercendo forças para reduzir sua área ao máximo. Além disso, a FIG. 23 ilustra como as moléculas de água interagem por meio de ligações de hidrogênio, dificultando a formação de bolhas apenas com água. O detergente, ao atuar como agente tensoativo, reduz essa tensão superficial, permitindo a formação da bolha e a manutenção de sua estrutura por um determinado tempo. O professor deve manter um discurso interativo-dialógico, conforme descrito por Mortimer e Scott (2002), incentivando a participação dos alunos e a formulação de explicações com base na leitura e na experimentação anterior.

Após essa primeira contextualização, o professor inicia a discussão sobre a segunda questão da atividade 4, relacionada às cores refletidas na bolha. Mais uma vez, os alunos devem primeiro expressar suas hipóteses antes da introdução do conceito científico. Para embasar suas respostas, o professor entrega o Texto Complementar 2 (FIG.23), que explora o fenômeno da interferência em filmes finos. O fenômeno da interferência também está presente em asas de borboletas, películas de óleo sobre a água e em revestimentos antirreflexos de lentes de câmeras fotográficas. A FIG.24 representa como os raios de luz incidem e refletem na superfície da bolha, resultando na variação das cores observadas. O professor deve estimular a interpretação do texto e a correlação das informações com o experimento realizado anteriormente.

Figura 23 – Texto de contextualização 2

Texto de contextualização 2

O fenômeno relacionado com esse efeito é a interferência em filmes (películas) finos. Esse tipo de interferência também explica as cores das asas de borboletas e de películas de óleo sobre água e tem aplicações no revestimento antirreflexo de lentes de câmeras fotográficas e de óculos.

A luz que chega aos olhos de quem observa uma bolha de sabão é a luz ambiente que foi refletida pela bolha. A bolha é formada por uma fina película cuja maior parte é

água. A pequena quantidade de sabão ou detergente acrescentada à água serve para reduzir a tensão superficial e permitir que a superfície se expanda.

Parte da luz que incide sobre a bolha é refletida na interface externa ar-água (raio 1 na figura); o restante da luz é refratada e chega à interface interna da película, onde ela é refletida e sai como o raio 2, mostrado na figura. Além de percorrer uma distância maior que a do raio 1, o raio 2 se propaga na água, portanto com uma velocidade menor que a do raio 1, que se propaga no ar.

Dessa forma, ao chegar ao olho do observador, os raios 1 e 2 podem interferir construtivamente ou destrutivamente, dependendo do comprimento de onda da luz e da diferença de caminho percorrido pelos raios que, por sua vez, depende da espessura da película e do ângulo de reflexão.

Assim, diferentes pontos da bolha refletem luz (interferência construtiva) com cores diferentes, dependendo da espessura e do ângulo de reflexão. Esta mudança da cor com o ângulo de observação é chamada de iridescência. A iridescência produzida por interferência em filmes finos é comumente encontrada na natureza nas asas de borboletas, besouros e penas de pavão macho.

As asas de borboletas são formadas por estruturas transparentes semelhantes a escamas. Removendo-se essas escamas, se expõe a superfície abaixo delas, que tem uma cor parda, ou seja, as cores das asas são devidas às escamas, que são transparentes. A cor e a iridescência das asas são devidos à interferência entre as partes da luz incidente que foram refletidas na primeira e na segunda interfaces de cada escama.

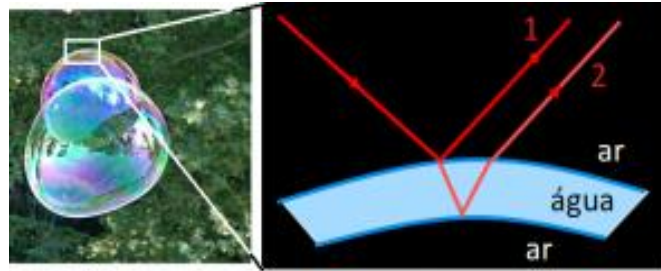
Fonte: Sala de demonstrações de física - UFMG

As cores observadas nas bolhas de sabão são devido a presença de interferências nos filmes superficiais. Os filmes superficiais têm espessura de uma só molécula e são denominados como monocamadas (Atkins, 2018).

Em função da presença do surfactante em água, há o acúmulo dele na interface, o que, conseqüentemente, modifica a tensão superficial do líquido e, portanto, a pressão superficial. A distribuição de cada componente não é uniforme por toda a superfície da bolha, pois é possível que um deles acumule na interface. Por esse motivo, a soma das energias de Gibbs de cada componente é diferente da energia de Gibbs total (Atkins, 2018).

Dessa forma, a energia que incide sobre a bolha é refletida na interface da bola composta por ar-água. Parte da luz é refratada e chegando na interface interna da película. As cores refletidas na bolha podem variar de acordo com a espessura e ângulo de reflexão, uma vez que os raios 1 e 2 podem interferir construtivamente ou destrutivamente, como observado na FIG.24.

Figura 24– Representação dos raios que incidem e refletem na interface da bolha



Fonte: Departamento de Física, UFMG

O papel do docente nesta aula é essencialmente o de mediador, guiando os alunos por meio de questionamentos e promovendo a construção ativa do conhecimento. Após a leitura dos textos, o professor pode reforçar pontos essenciais, como o processo de incidência e reflexão da luz na bolha, a variação das cores de acordo com a espessura da película e a influência da tensão superficial na estabilidade da bolha. Ao final da aula, os alunos devem consolidar suas conclusões a partir da mediação do professor, que pode utilizar o quadro para organizar as ideias centrais e garantir a compreensão do conteúdo.

A escolha dos textos complementares deve ser feita de maneira estratégica, garantindo que eles dialoguem com os conceitos desenvolvidos ao longo das aulas. A problematização inicial, a leitura do texto e sua análise devem ser conduzidas pelos alunos, enquanto a mediação e a sistematização dos conhecimentos cabem ao professor. Essa abordagem investigativa promove uma aprendizagem significativa, caracterizando a aula como um grau de liberdade 4, segundo Carvalho (2018), uma vez que os alunos assumem um papel ativo na construção de suas explicações. Dessa forma, a contextualização reforça a importância do Ensino por Investigação e permite que os alunos compreendam os conceitos de maneira integrada e aplicada ao mundo real.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho pretendeu construir uma sequência didática baseada no ensino por investigação proposto por Carvalho. Essa SEI tem por objetivo construir conhecimentos sobre as forças intermoleculares. Para criação da SEI, seguiu-se algumas etapas que estão interligadas entre si, sendo elas: I seleção do referencial teórico-metodológicos; II definição dos objetivos de aprendizagem; III escolha do tema para contextualizar os conceitos de química; IV escolha dos conceitos químicos; V seleção e elaboração das atividades.

Em primeiro, ao realizar as análises verificou-se que existem muitos referenciais teóricos sobre o ensino por investigação, entretanto, não há uma SEI para abordar o conteúdo de forças intermoleculares. Assim, percebeu-se a necessidade deste trabalho. Em segundo, o ensino por investigação foi escolhido como forma de abordar o conteúdo, pois na SEI há o desenvolvimento das habilidades cognitivas, uma vez que, ao longo de seu processo, as atividades propostas estimulam a curiosidade, a pesquisa e a resolução de problemas. Dessa forma, o aluno é incentivado a questionar, formular hipóteses, coletar e analisar dados, realizar experimentos e tirar conclusões baseadas em investigação, autonomia, criatividade e curiosidade intelectual.

Buscou-se contemplar contextualizações que possam ser interessantes para os alunos, como a cor iridisada da bolha de sabão e seu formato esférico utilizando diferentes recursos didáticos, como, quadro, desenhos, imagens e textos. Sendo assim, os referenciais teóricos do ensino por investigação demonstraram ser promissores para elaborar uma sequência didática abordando o conteúdo de forças intermoleculares.

O tema “bolhas de sabão” mostrou-se importante para a elaboração de atividades para o ensino básico, visto que está presente no dia a dia dos estudantes, e é vinculado aos conhecimentos científicos que podem ser ministrados em aulas de química. Ou seja, a partir do tema “bolhas de sabão” pode-se produzir inúmeros materiais didáticos para relacionar com os conhecimentos científicos, como, tensão superficial, interfaces curvas, polaridade, ligações químicas intramoleculares, entre outros. Além de ser uma opção para auxiliar no desenvolvimento do pensamento científico, do senso crítico e da autonomia intelectual dos estudantes.

Considerando o nível de abertura da investigação durante a SEI, é possível adotar uma abordagem de investigação de grau quatro. Isso ocorre porque os alunos ainda não estão familiarizados com a proposta apresentada. Contudo, nesse nível de abertura, já ocorrem práticas investigativas, sendo considerado um bom grau de liberdade se comparado com os graus abaixo.

No entanto, é essencial que haja um avanço nas práticas investigativas para que os alunos atinjam o grau 5 de investigação científica.

Diante disso, entende-se que as atividades propostas oferecem aos alunos a oportunidade de realizar investigações práticas, bem como, no caso, investigações experimentais. Isso ocorre porque as atividades são capazes de questionar as questões discutidas ao longo do desenvolvimento da SEI. Nesse contexto, a sequência de aulas é composta por uma variedade de atividades bem estruturadas, com diferentes níveis de abertura, visando promover o máximo possível de habilidades nos alunos. Visto isso, com base neste trabalho, para que o nível de abertura aumente, uma possibilidade seria os alunos proporem o problema, e não o professor, caracterizando um grau de liberdade 5.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINS, P; PAULA, J. **Físico-química**. Décima edição. Rio de Janeiro, MG: GEN, 2018. Volume 1. ISBN 9788521634720.
- ATKINS, P; PAULA, J. **Físico-química**. Décima edição. Rio de Janeiro, MG: GEN, 2018. Volume 2. ISBN 9788521634744.
- ATKINS, P; JONES, L; LAVERMAN, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Sétima edição. Porto Alegre, RS: Bookman, 2018. p. 830. ISBN 9788582604625.
- BAPTISTA, M. L. M. **Concepção e implementação de actividades de investigação**: um estudo com professores de física e química do ensino básico. 2010. 561 p. Tese de doutoramento, Educação (Didáctica das Ciências), 2010, Universidade de Lisboa, Instituto de Educação.
- BUENO, W, A. **Ligação de Hidrogênio**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978. CDD-546.2-541.224.
- CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. **Ensino de ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo, SP: Cengage Learnig, 2014, Capítulo 1, p. 1-19.
- CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação, 2018.
- COOPER, M. M; WILLIAMS, L. C; UNDERWOOD, S.M. Journal Of Chemical Education. **Student Understanding of Intermolecular Forces: A Multimodal Study**, 2015.
- JUSTI, R. S. **Modelos e modelagem no ensino de química**: um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. Minas Gerais, 2019, cap. 8. UFMG.
- MARQUES, D. M. **Elaboração de material didático para aulas de química na educação básica**: o conceito de tensão superficial, 2019.
- MIRANDA, A. C. G; BRAIBANTE, M. E. F; PAZINATO, M. S. **Concepções alternativas sobre forças intermoleculares**: um estudo a partir das publicações da área de ensino, 2017.
- MORTIMER, E. F; SCOTT, P. **Atividade discursiva nas salas de aula de ciências**: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino, 2002.
- Sala de demonstrações de física, UFMG. Disponível em: <http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/96/15.-As-cores-das-bolhas-de-sabao>. Acessado: 05/03/2025.
- SANTOS, M. C; ALMEIDA, L. R; SANTOS FILHO, P, F. O ensino contextualizado de interações intermoleculares a partir da temática dos adoçantes. Bauru, 2020. Unicamp.
- SANTOS, M. P. Bolhas de sabão gigante, 2017.
- SASSERON, L. H. **O ensino por investigação**: pressupostos e práticas. São Paulo, 2008, cap. 12. USP/Univesp.
- SILVA, M. B; GEROLIN, E. C; TRIVELATO, S. L. F. A importância da autonomia dos estudantes para a ocorrência de práticas epistêmicas no ensino por investigação, 2018.
- WANDERSEE, J.H; MINTZES, J.J; NOVAK, J.D. Pesquisa sobre concepções alternativas em ciência, 1994.