

**CONCEPÇÃO ATOMISTA DE ESTUDANTES DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA EM
DIFERENTES NÍVEIS DE COGNIÇÃO: UM OLHAR A PARTIR DA TEORIA DOS
CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD***ATOMIST CONCEPTION OF UNDERGRADUATE STUDENTS IN CHEMISTRY AT DIFFERENT
LEVELS OF COGNITION: A LOOK FROM VERGNAUD'S THEORY OF CONCEPTUAL FIELDS**CONCEPCIÓN ATOMISTA DE ESTUDIANTES DE PREGRADO EN QUÍMICA EN DISTINTOS NIVELES DE
COGNICIÓN: UNA MIRADA DESDE LA TEORÍA DE LOS CAMPOS CONCEPTUALES DE VERGNAUD*

KARINY MERY ARAUJO CUNHA¹
JERINO QUEIROZ FERREIRA²
LUCIANA NOBRE DE ABREU FERREIRA³

RESUMO

Nesta pesquisa, investiga-se os esquemas de ação empregados por licenciandos em Química ao abordar o conceito de Atomismo em diferentes níveis cognitivos. Participaram sete estudantes matriculados em distintos períodos da graduação. A análise baseia-se nas respostas a quatro situações-problema: duas de baixa ordem cognitiva e duas de alta ordem, estas últimas respondidas após instrução explícita. Para a análise, adotaram-se categorias previamente estabelecidas. Observou-se nas respostas de alguns estudantes, diferenças no uso de conceitos e invariantes operatórios ao comparar o desempenho em situações de baixa e alta ordem cognitiva dentro do mesmo campo conceitual. Além disso, os esquemas de ação identificados nas respostas, demonstraram a coexistência de conceitos alinhados ao modelo cientificamente aceito e concepções alternativas descritas na literatura, particularmente sobre a descontinuidade da matéria (noção de vazio) e transformações físicas, como dilatação. Esses resultados corroboram a literatura, que aponta a persistência de concepções alternativas sobre esse núcleo conceitual, mesmo em níveis universitários.

Palavras-chave: Atomismo; Nível de cognição; Licenciandos em Química; Campos conceituais.

ABSTRACT

In this research, we investigate the action schemes used by undergraduate Chemistry students when approaching the concept of atomism at different cognitive levels. Seven students enrolled in different periods of the undergraduate course participated. The analysis is based on the responses to four problem situations: two of low cognitive order and two of high order, the latter answered after explicit instruction. For the analysis, previously established categories were adopted. It was observed in the responses of some students differences in the use of concepts and operational invariants to compare performance in situations of low and high cognitive order within the same conceptual field. Furthermore, the action schemes identified in the responses demonstrated the coexistence of concepts aligned with the scientifically accepted model and alternative conceptions described in the literature, particularly regarding the discontinuity of matter (notion of emptiness) and physical transformations, such as dilation. These results corroborate the literature, which points to the persistence of alternative conceptions about this conceptual core, even at university levels.

Keywords: Atomism; Level of cognition; Undergraduate students in Chemistry; Conceptual fields.

1 Doutoranda em Química, Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Piauí. E-mail: karinymer@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1975-880X>

2 Doutor em Química, Universidade Federal do Piauí. E-mail: jerino@ufpi.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9356-8716>

3 Doutora em Química, Universidade Federal do Piauí. E-mail: luciananobre@ufpi.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3505-9523>

RESUMEN

En esta investigación investigamos en los esquemas de acción que emplean los estudiantes de pregrado de Química al abordar el concepto de Atomismo en diferentes niveles cognitivos. Participaron siete estudiantes matriculados en diferentes periodos de sus estudios de pregrado. El análisis se basa en las respuestas a cuatro situaciones problema: dos de orden cognitivo bajo y dos de orden alto, estas últimas respondidas después de una instrucción explícita. Para el análisis se adoptaron categorías previamente establecidas. Se observó en las respuestas de algunos estudiantes, diferencias en el uso de conceptos e invariantes operatórios ao comparar o desempenho em situações de baja y alta orden cognitiva dentro del mismo campo conceitual. Además, los esquemas de acción identificados en las respuestas demostraron la coexistencia de conceptos alineados con el modelo científicamente aceptado y concepciones alternativas descritas en la literatura, particularmente respecto de la discontinuidad de la materia (noción de vacío) y las transformaciones físicas, como la expansión. Estos resultados corroboran la literatura, que apunta a la persistencia de concepciones alternativas sobre este núcleo conceptual, incluso en los niveles universitarios.

Palabras-clave: Atomismo; Nivel de cognición; Estudiantes de pregrado en Química; Campos conceptuales.

INTRODUÇÃO

“Por que é difícil aprender química?”

O questionamento acima constitui um ponto de partida fundamental para pesquisas que buscam analisar a concepção de estudantes acerca de conteúdos químicos. Compreender a raiz do problema pode ser um caminho viável para aprimorar a aprendizagem dos alunos, especialmente quando se dispõe de dados provenientes de pesquisas que fundamentam as decisões sobre a organização e o sequenciamento dos conteúdos conceituais no currículo de Química.

Taber (2013) elenca alguns fatores que podem contribuir para a permanência das dificuldades na aprendizagem dos conteúdos de Química. Entre eles, destaca-se o fato de o estudante precisar lidar com um volume considerável de conceitos novos e altamente abstratos, além da exigência de estabelecer conexões entre esses conceitos e diferentes fenômenos observados.

Adicionalmente, diferentes autores ressaltam que a aprendizagem dos conteúdos de Química passa pelo domínio do núcleo conceitual da natureza corpuscular da matéria, diretamente relacionado ao uso do esquema conceitual de interação entre partículas (Ozmen, 2011; Pozo *et al.*, 1991). Isso supõe que o estudante deve assumir que a matéria, para além de sua aparência visível ou dos diversos estados em que se apresenta, tem uma natureza descontínua, formada por átomos, pequenas partículas em contínuo movimento e interação, cuja combinação suscita estruturas mais “complexas e entre as quais não existe absolutamente nada, o que implica a complexa e abstrata ideia de vazio” (Pozo; Gómez Crespo, 2009, p. 145). Partindo dessa premissa, esse núcleo conceitual é considerado, pelos estudantes, o mais difícil de aprender mesmo entre alunos com maior nível de instrução ou experiência (Samesla; Eicheler; Pino, 2007).

A Química, em seus propósitos, é uma ciência voltada ao estudo e à explicação dos fenômenos decorrentes das transformações da matéria, considerando a existência de partículas cujas alterações estruturais ou interações podem gerar mudanças observáveis macroscopicamente (Cedran, D. P.; Cedran, J. C.; Kiouranis, 2018). No entanto, a relação entre fenômenos observáveis (macroscópicos) e o mundo corpuscular só pode ser elucidada por meio de modelos que buscam representar idealmente essas entidades não observáveis. Segundo Reis, Kiouranis e Silveira (2017) isso exige uma abordagem crítica dessas formas de representações, para que os conceitos científicos sejam compreendidos a partir do contexto de origem.

Observa-se, assim, que as teorias químicas, de modo geral, fundamentam-se em modelos, especialmente quando se referem a entidades corpusculares imperceptíveis. Contudo, estudos indicam que a maioria dos estudantes não emprega o modelo corpuscular ao explicar fenômenos químicos ou físicos. Em vez disso, recorrem espontaneamente a interpretações baseadas nas propriedades macroscópicas da matéria, pois estas são mais próximas de sua experiência concreta do mundo físico, em contraste com as microscópicas do modelo corpuscular (Hu; Zhu; Bi, 2024).

Na perspectiva do ensino, o principal desafio para a promoção da aprendizagem reside no aspecto conceitual, pois está diretamente relacionado às dificuldades dos estudantes em assimilar as teorias químicas.

Diante desse contexto, o presente estudo busca compreender como as operações gerais do pensamento, mobilizadas por estudantes ao resolverem **situações** que envolvem o Atomismo da matéria, se articulam aos conteúdos conceituais, alinhando-se ou não aos conceitos cientificamente aceitos, mesmo após um período de instrução explícita. Além disso, investiga-se como o núcleo conceitual e as operações do pensamento são mobilizados em **situações** de diferentes níveis de cognição.

Dessa forma, este estudo busca responder às seguintes questões de pesquisa: Quais esquemas de ação são mobilizados pelos licenciandos na resolução de situações sobre Atomismo em diferentes níveis de cognição? O período de instrução explícita pode influenciar o desempenho dos estudantes na resolução de problemas em níveis mais elevados de cognição?

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para Vergnaud (1990), idealizador da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), o conhecimento se desenvolve à medida que o indivíduo estabelece relações efetivas e conceitualiza determinadas **situações** (ou problemas). Desse modo, a teoria assume um carácter desenvolvimentalista, pois supõe que o desenvolvimento cognitivo é favorecido pela resolução de diferentes situações que exigem o “domínio de propriedades diferentes de um mesmo **conceito**” (Vergnaud, 1986, p. 81, tradução nossa).

Nesse sentido, o enfrentamento de **situações** é tido como o cerne do saber operatório, isto é, “a porta de entrada para a formação de **conceitos**” (Cendran; Kiouranis, 2019, p. 68). Por isso, Vergnaud (2017) explica que o enfrentamento de diferentes classes de **situações** proporciona aos estudantes relacionar seus conhecimentos com conceitos científicos. Uma **situação**, para Vergnaud (1986), demanda resolução ativa, independentemente da validade do processo ou resultado, pois o foco está em investigar a construção das formas de resolução, não no resultado em si.

Nesse ínterim, a TCC apresenta-se com um aporte teórico pertinente à análise das dificuldades conceituais dos alunos na resolução de situações e nos processos de conceitualização. Moreira (2002) destaca que essas dificuldades podem ser investigadas a partir dos **invariantes operatórios** empregados pelos estudantes, o que revela a pertinência de seus conhecimentos frente ao conhecimento científico.

Os **invariantes operatórios** são conhecimentos mobilizados durante a resolução de situações, o que os caracteriza como **conhecimentos-em-ação**. Estes, se subdividem em duas classes complementares: os **conceitos-em-ação**, que correspondem a adequação de conceitos científicos e os **teoremas-em-ação**, a articulação desses conceitos para a resolução da **situação**. Assim, enquanto os **conceitos-em-ação** são passíveis de julgamento quanto à validade de sua aplicação, os **teoremas-em-ação** são examinados segundo a adequação em sua organização e emprego (Vergnaud, 2017).

Vergnaud (2017) assegura que a primeira mediação docente é selecionar **situações** do campo conceitual em foco. Entende-se por **campo conceitual** um conjunto de situações que, por consequência, requer um conjunto de **conceitos** interconectados (Moreira, 2002).

Com relação à natureza corpuscular da matéria, constitui um núcleo conceitual complexo que não se estabelece por meio de um único **conceito** ou **situação**, mas a partir de um conjunto destes que nem sempre são explorados com a precisão e profundidade necessários. Envolve, portanto, noções como descontinuidade, partículas, movimento intrínseco e interações, essenciais para explicar estruturas, propriedades (difusão, dilatação) e mudanças físicas ou químicas.

À vista disso, é preciso priorizar as particularidades conceituais e as **situações** nas quais os estudantes podem fazer uso de seus **esquemas** para resolver questões envolvendo esse campo conceitual. Adicionalmente, Moreira (2002) explica que o foco da teoria de Vergnaud está no estudo das operações lógicas gerais e das estruturas do pensamento para o estudo do funcionamento cognitivo do **sujeito-em-situação** em que seus **esquemas** serão mobilizados.

Vergnaud (2013, 2017) define esquema como uma organização invariante do comportamento para uma classe específica de situações. Por isso, considera que os esquemas fundamentalmente se relacionam a situações, substituindo a interação sujeito-objeto, defendida por Piaget, por esquema-situação.

Voltando à noção da constituição da matéria, os **esquemas de ação** podem envolver operações do pensamento implícitas à resolução de **situações** características deste **campo conceitual**, tais como: formular hipóteses sobre eventos submicroscópicos, relacionar temperatura e agitação molecular, considerar a diminuição ou aumento dos espaços partículas, aplicar o modelo cinético-molecular, compreender que interações entre partículas provocam mudanças em seu movimento ou nas interações entre as partículas como responsáveis pelas mudanças macroscópicas.

O desenvolvimento cognitivo ocorre pelo repertório de esquemas, que se adaptam a situações variadas (Moreira, 2002). A partir disso, Vergnaud (2017) sugere que, ao enfrentar uma **situação**, a aprendizagem se desenvolve em três níveis: o primeiro consiste no ato de memorizar as regras de ação, com base em como fazer; o segundo, em avaliar hipóteses sobre o porquê de fazer; e o terceiro, em conceitualizar, recorrendo à explicação para a escolha do **esquema** empregado na **situação**.

Além disso, Vergnaud (2017) considera os conhecimentos explícitos como a parte visível da conceitualização, sendo os **invariantes operatórios** (implícitos) essenciais para o processo. A relação dialética entre ambos evidencia que muitas dificuldades na aprendizagem científica podem estar relacionadas a conhecimentos-em-ação não explicitados.

METODOLOGIA

Os resultados desta pesquisa fazem parte de um estudo mais amplo, no qual foram realizadas intervenções na disciplina Metodologia do Ensino de Química, oferecida ao curso de Licenciatura em Química de uma instituição federal de ensino superior, no período de 2022.2. Essa disciplina, de caráter semestral e obrigatório, possui carga horária de 60 horas e visa desenvolver a capacidade dos alunos de analisar e avaliar diferentes métodos de ensino, considerando o potencial ou limitações de sua aplicação no exercício profissional docente. A pesquisa envolveu nove estudantes de graduação em Licenciatura em Química, matriculados entre o 6º e o 8º período do curso.

Tendo em vista a intenção de promover reflexões dos estudantes sobre seus conhecimentos, a intervenção para a coleta de dados envolveu uma sequência didática pautada na problematização de

conceitos, resolução de problemas, explicitação de ideias e negociação de significados. As ações foram organizadas em dois blocos de quatro encontros cada, abordando, respectivamente, o conteúdo de Atomismo no primeiro grupo e transformações químicas no segundo.

No primeiro encontro, aplicou-se inicialmente um questionário para identificar as concepções prévias dos licenciandos, aspecto fundamental na TCC por orientar as etapas seguintes de negociação de significados. Na sequência, utilizou-se um Texto de Divulgação Científica (TDC), ocasião em que os estudantes realizaram, primeiramente, uma leitura individual, na qual puderam destacar informações e registrar dúvidas. Em seguida, a leitura foi conduzida pelo professor de forma compartilhada com toda a turma.

Cabe mencionar que a escolha pelo TDC como elemento desencadeador das discussões deu-se em virtude de seu potencial em favorecer, a partir de seus aspectos conceituais, os processos de problematização de conceitos e negociação de significados (Ferreira, 2013). Na perspectiva da TCC, a leitura desse tipo de texto é concebida como enfrentamento de diferentes situações que possibilitam aos estudantes mobilizar seus conceitos e teoremas-em-ação. Ademais, nas discussões em sala, a explicitação de ideias mostra-se essencial para a organização e o aprimoramento de seus conhecimentos-em-ação.

No encontro seguinte, o professor socializou as concepções prévias dos estudantes, sem identificá-los, para que os próprios alunos pudessem analisar as suas respostas e facilitar a ocorrência das interações discursivas, que foram aprofundadas com a continuação da leitura do texto. Ocorreu, dessa forma, o primeiro momento de *feedback* aos estudantes, em que o professor fez observações, apontou equívocos e destacou raciocínios corretos apresentados nas respostas ao questionário, ocasião importante para que os estudantes pudessem verificar lacunas em seus conhecimentos.

No terceiro encontro, os estudantes foram convidados a resolver duas situações-problemas que serão descritas mais adiante. A resolução dos problemas de química, realizada após a leitura e discussão do TDC, mostrou-se relevante para que os estudantes externalizassem seus conteúdos cognitivos. As questões foram divididas em duas partes: a parte A, sem alternativas, e a parte B, com alternativas, com a intenção de permitir aos alunos revisar ou corrigir suas respostas iniciais. Com esse formato, buscou-se estimular a reflexão dos estudantes sobre os procedimentos adotados na resolução, uma vez que foram estimulados a validar ou corrigir as respostas fornecidas no primeiro momento.

O quarto encontro consistiu na socialização das respostas dos estudantes, seguindo o mesmo procedimento adotado para as concepções prévias. Foi realizada, ao final das atividades, uma entrevista semiestruturada para analisar a compreensão dos estudantes, os caminhos adotados na resolução dos problemas e sua avaliação sobre as atividades desenvolvidas.

Neste recorte da pesquisa, discute-se, à luz da TCC de Vergnaud e de referenciais sobre Atomismo, a análise das concepções prévias dos estudantes a partir de duas questões do questionário e dos problemas aplicados sobre o conteúdo de Atomismo. O TDC utilizado foi publicado na revista de divulgação científica *Ciência Hoje* e traz como plano de fundo uma discussão sobre a impossibilidade de seres humanos atravessar paredes (Miranda, 2021). Tendo em vista os conceitos explorados, o texto foi associado ao conteúdo de Atomismo. Cabe citar que apenas sete estudantes participaram das atividades discutidas no manuscrito.

As duas questões de conhecimentos prévios (**Situação 1 e 2** - Quadro 1), escolhidas para a análise, tinham como objetivo investigar como os estudantes concebem a constituição da matéria e o comportamento das partículas nos diferentes estados. Com os problemas analisados (**Situação 3 e 4** - Quadro 1), resolvidos após o período de instrução mediada pela leitura do TDC, pretendia-se

que os estudantes fornecessem explicações sobre a dilatação e compressão de sólidos, bem como a dilatação do ar observada no enchimento de uma bexiga na extremidade de uma garrafa submersa em água quente.

O foco foi analisar a compreensão dos estudantes sobre a noção de vazio, o movimento das partículas e a apresentação dos diferentes estados da matéria, com o intuito de identificar concepções alternativas em relação à constituição da matéria. Além disso, esperava-se que os estudantes relacionassem as características dos gases, como o espaço livre entre as moléculas e o afastamento entre elas, à sua alta capacidade de compressão e expansão, além da influência da energia cinética das moléculas do gás no aumento do seu volume quando submetido ao aquecimento, resultando no aumento da distância entre as moléculas (Atkins; Jones, 2006).

Tanto as perguntas quanto os problemas propostos foram classificados quanto ao nível de cognição, com base na definição de Zoller (2002), que classifica as habilidades cognitivas em Algorítmicas (ALG), Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS - Lower Order Cognitive Skills) e Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (HOCS - Higher Order Cognitive Skills). Em virtude do recorte da pesquisa, a categoria ALG não foi considerada na classificação das questões propostas.

De acordo com Zoller (2002), as Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS) envolvem atividades que enfatizam definições formais, equações e procedimentos algorítmicos, restringindo-se à identificação, memorização ou aplicação de conceitos em situações familiares, ou seja, envolvendo exercícios objetivos, sem problematização do conteúdo. Por outro lado, as Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (HOCS) são acionadas em questões-problema não familiares aos estudantes, que exigem investigação e análise de variáveis. Nesse sentido, as situações que desenvolvem HOCS devem permitir a elucidação de hipóteses, promovendo o pensamento crítico, a tomada de decisões e a construção de conexões conceituais para a resolução do problema (Zoller, 2002).

No Quadro 1 a seguir, estão apresentadas as questões propostas, classificadas de acordo com o nível de cognição exigido para sua resolução.

Quadro 1 - Situações aplicadas aos sujeitos consoantes as categorias de Zoller (2002) quanto ao nível de cognição.

SITUAÇÃO (S)	DESCRIÇÃO	NÍVEL DE COGNIÇÃO
1	Caracterizar a matéria	BAIXO NÍVEL DE COGNIÇÃO (LOCS)
2	Descrever o comportamento de uma substância nos diferentes estados físicos	BAIXO NÍVEL DE COGNIÇÃO (LOCS)
3	Sugerir uma forma de desprender dois copos de vidro presos após serem empilhados uns sobre os outros	ALTO NÍVEL DE COGNIÇÃO (HOCS)
4	Propor uma explicação para o aumento do volume de uma bexiga presa a uma garrafa, após a garrafa ser colocada em contato com água quente	ALTO NÍVEL DE COGNIÇÃO (HOCS)

Fonte: construção dos autores.

Para a proposição das questões tomou-se a premissa defendida por Vergnaud (2013), de que a apresentação dos estudantes a diferentes situações, com níveis variados de complexidade, favorece o desenvolvimento cognitivo do sujeito. Isso ocorre porque tais situações possibilitam

a elaboração de esquemas mentais diversos, que podem ser aplicados em uma ampla gama de novas situações, com diferentes graus de complexidade, resultando na construção de novos invariantes operatórios.

Em relação à classificação das situações, Vergnaud (2017) as caracteriza em dois tipos: as que o sujeito já dispõe de esquema que lhe permita enfrentá-la; e a outra na qual ainda não possui um esquema e, neste caso, emprega múltiplos esquemas que podem entrar em competição ou ser associados para resolver a **situação**.

Cedran e Kiouranis (2019) descrevem que um esquema pode ser útil, tanto para organizar e orientar ações em situações familiares, assim como para o enfrentamento de situações até então desconhecidas, levando o sujeito à adaptação às **situações** e sua ampliação a outras classes de situações.

Nessa vertente, acredita-se que a **situação** de baixo nível cognitivo se relaciona a situações familiares, por ser mais elementar e, portanto, comumente abordada desde o ensino fundamental (ou ensino médio, em alguns casos) aos estudantes. As situações de alto nível, por outro lado, se encaixam melhor nas situações não familiares as quais exigem maior articulação entre os esquemas para melhor desempenho.

Para a análise dos dados obtidos, foram delineadas três dimensões com o objetivo de sistematizar a discussão dos elementos identificados nas respostas dos estudantes. No Quadro 2, são apresentadas as dimensões consideradas na análise, juntamente com suas respectivas definições.

Quadro 2 - Dimensões de análise das respostas dos estudantes:
aspectos conceituais, Operatórios e estruturais.

DIMENSÃO	DEFINIÇÃO
D1- CONCEITUAL	Manifesta-se a partir do enfrentamento de situações e se relaciona a invariantes operatórios e às representações simbólicas associadas ao Atomismo.
D2- INVARIANTES OPERATÓRIOS	Teoremas implícitos ou explícitos, ativados durante as ações do sujeito em situação e qualificadas por operações gerais do pensamento associadas a conteúdos conceituais.
D3- ESTRUTURAÇÃO DAS EXPLICAÇÕES	Corresponde à sequência das ações do sujeito, como a elaboração de justificativas e inferências.

Fonte: construção dos autores.

Isso posto, a seguir são apresentados os resultados e a discussão dos dados a partir dessa organização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

APRESENTAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS

Vergnaud (2013) salienta que o domínio de um campo conceitual ocorre de maneira lenta e gradual, rupturas e filiações (continuidades) na aprendizagem, dependendo de fatores como maturidade e experiência direta do sujeito com a resolução de situações. Essa perspectiva se alinha aos resultados da presente pesquisa: mesmo após instrução explícita sobre Atomismo, os estudantes mobilizaram esquemas de ação com relações conceituais limitadas, por vezes inapropriadas ou

mesmo equivocadas, revelando concepções alternativas semelhantes às descritas por Pozo *et al.* (1991), Mortimer (2000), Pozo e Gómez Crespo (2009).

Para Vergnaud (2017), esse processo é natural - em certos momentos, os conhecimentos prévios sustentam a aprendizagem; em outros, precisam ser abandonados por se tornarem obstáculos. Os dados corroboram essa visão: as dificuldades dos estudantes evidenciam que a simples exposição ao conteúdo científico não garante a reestruturação dos esquemas de ação, reforçando a necessidade de situações que promovam rupturas conscientes com ideias inadequadas.

A seguir, o Quadro 3 exibe os conceitos identificados nas respostas dos estudantes, classificados em acordo ou desacordo com o modelo científico do Atomismo. É importante destacar que, por envolver a associação da noção de Atomismo a diversos conceitos, nem todos os itens listados no Quadro 3 estão presentes em cada resposta. Ademais, a vinculação dos conceitos às respostas dos estudantes baseou-se na análise de menções diretas e indiretas identificadas em suas explicações. Por fim, ressalta-se que as definições apresentadas a seguir consistem em interpretações das pessoas autoras sobre as respostas dos estudantes.

Quadro 3 - Conceitos implícitos nos esquemas de ação das respostas dos estudantes em acordo e em desacordo com o modelo cientificamente aceito para o Atomismo.

CONCEITOS (D1)	DEFINIÇÕES
GRUPO 1: EM ACORDO	
IA- Natureza particulada da matéria	A matéria é particulada e, portanto, descontínua
IB- Substâncias químicas ocupam volume	As partículas possuem massa e ocupam lugar no espaço
IC- Organização das partículas	As partículas posicionam-se mais próximas ou mais distantes umas das outras, ou seja, mais ordenadas ou menos ordenadas
ID- Compressão	A pressão reduz o espaço e, conseqüentemente, o volume entre as moléculas
IE- Dilatação	O aumento no grau de agitação das moléculas aumenta o volume, devido ao aumento da distância média entre elas
IF- Movimentação contínua das partículas	As partículas movimentam-se continuamente (agitação molecular) no espaço vazio, por possuírem energia cinética. As partículas permanecem em movimento mesmo a temperaturas muito baixas
GRUPO 2: EM DESACORDO	
IIA- Choques ou junção das partículas subatômicas	A teoria considera possível a ocorrência de colisões ou ligações entre partículas subatômicas
IIB- Desconsideração da matéria como dotada de espaços vazios	O modelo desassocia os estados físicos e os fenômenos de dilatação e compressão da existência de espaços vazios
IIC- Anulação da natureza corpuscular da matéria	As características do modelo particulado da matéria não são consideradas
IID- Excitação eletrônica	O aumento do volume do gás é associado à excitação eletrônica ocasionada pelo calor fornecido ao sistema
IIE- Estaticidade das partículas que compõem a matéria	A velocidade e o espaçamento entre partículas não se relacionam com a temperatura ou com a fase da matéria
IIF- Rearranjo dos átomos	O rearranjo dos átomos explica o aumento do volume do ar
IIG- Vapor de água no sistema	A água evaporada no experimento difunde-se para dentro da garrafa, o que gera o efeito observado no balão

Fonte: construção dos autores.

Legenda: As combinações de algarismos romanos e letras IA a IF correspondem às definições em acordo; enquanto IIA a IIG correspondem às definições em desacordo.

Na análise interpretativa buscou-se evidenciar quais esquemas são postos em ação mediante o enfrentamento das situações, pois durante o enfrentamento de uma **situação** o sujeito aciona um conjunto de ações organizadas que permite suscitar diferentes comportamentos, contudo organizados, para cada **situação** a resolver (Vergnaud, 2013).

No que diz respeito aos invariantes operatórios, evidencia-se a concepção de hipóteses sobre eventos submicroscópicos (ideias sobre as partículas em diferentes eventos); Relação entre o aumento da temperatura e o aumento do movimento das partículas; e a diminuição ou aumento dos espaços entre elas. Vale lembrar que os invariantes operatórios são constituídos pela ligação entre os conteúdos conceituais e as operações do pensamento, as quais são formuladas, principalmente, nas justificativas propostas para a resolução das situações (Moreira, 2002).

Nesse sentido, ao analisar as concepções dos estudantes sobre o comportamento das partículas nos diferentes estados físicos, bem como a expansão do ar após aquecimento, observou-se um sutil direcionamento à relação entre a influência da variação da temperatura e a movimentação das partículas, noção importante para a possibilidade de generalização do campo conceitual do Atomismo. Contudo, nem sempre se articularam de modo coerente quando se considera os esquemas de ação em seus aspectos mais abrangentes.

Outra operação verificada foi aquela relacionada as noções de diminuição ou aumento dos espaços entre as partículas, embora limitadamente citada essa articulação conceitual implica na aceitação da ideia de vazio entre as partículas, direcionando, portanto, a uma capacidade de generalização do conceito a partir do reconhecimento das similaridades entre diferentes situações e transferência de conclusões de uma **situação** para outra (Mortimer, 2000).

O Quadro 4 apresentado a seguir exhibe as operações do pensamento evidenciadas nas respostas dos estudantes às diferentes situações enfrentadas.

Quadro 4 - Operações do pensamento relacionadas aos conteúdos conceituais evidenciadas a partir das respostas dos estudantes.

OPERAÇÕES DO PENSAMENTO (D2)		DEFINIÇÃO
h	Conceber hipóteses sobre eventos submicroscópicos	O estudante formula hipóteses sobre as partículas em diferentes eventos, comportamentos ou interações existentes no sistema
r	Relacionar o aumento da temperatura e o aumento na agitação das partículas	O estudante considera a relação entre o aumento da temperatura e a agitação molecular
d	Considerar a diminuição ou aumento dos espaços entre as partículas	O estudante relaciona a dilatação e compressão ao aumento ou a diminuição dos espaços entre as partículas

Fonte: construção dos autores.

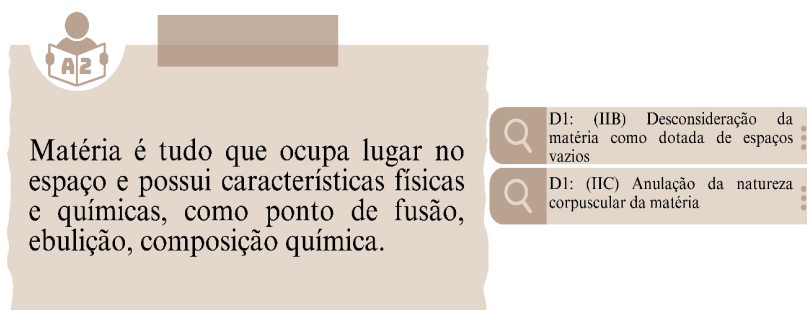
Nesse ponto, importa destacar que a análise das respostas - a ser discutida adiante - baseia-se na relação entre as três categorias do Quadro 2 (D1: dimensão conceitual, D2: invariantes operatórios, D3: estruturação das explicações), suas subcategorias correspondentes nos Quadros 3 e 4, e a eventual presença de justificativas ou conclusões nas explicações dos estudantes. Por exemplo, para uma resposta em que o estudante tenha considerado a natureza particulada da matéria a partir da formulação de hipóteses sobre partículas como justificativa, a resposta virá acompanhada pelos seguintes códigos: D1: (IA); D2: Hipótese e D3: Justificativa. Ademais, fragmentos com diferentes elementos serão destacados por cores para facilitar a visualização das associações.

APRESENTAÇÃO ESPECÍFICA DOS RESULTADOS

Pozo e Gómez Crespo (2009, p. 145) evidenciam que as noções sobre como a matéria é constituída são indispensáveis para a caracterização e explicação de sua estrutura nos diferentes estados nos quais se apresenta, suas propriedades (como a dilatação ou difusão dos gases) e as mudanças físicas e químicas que podem ocorrer em sua estrutura.

Logo, as respostas esperadas para S1 deveriam estar relacionadas à natureza descontínua da matéria e que é invariavelmente formada por átomos (Pozo; Gómez Crespo, 2009). A Figura 1 apresenta a resposta de A2 para a questão cujo conteúdo se baseia em uma definição para a matéria que corresponde, com exceção de A4, aos demais estudantes da pesquisa.

Figura 1 - Esquema de ação mobilizado pelo aluno A2, referente à situação S1.

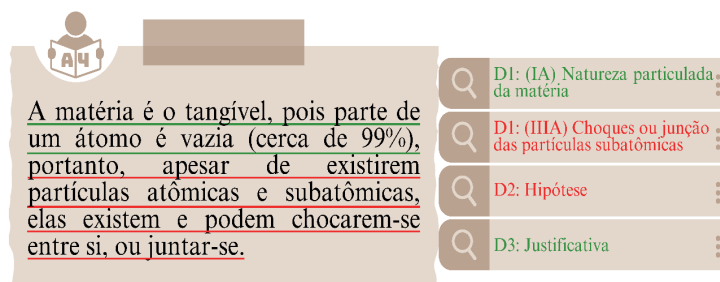


Fonte: construção dos autores.

A definição apresentada sugere uma concepção fortemente influenciada por ideias encontradas em materiais didáticos ao mencionarem um conceito “pronto” para a definição de matéria. Apesar disso, essas concepções, mesmo sendo bastantes gerais, estão corretas do ponto de vista científico. Resultado semelhante foi obtido por Pazinato e Braibante (2014) ao buscarem conhecer a concepção de estudantes em relação à composição química dos alimentos. Os dados obtidos manifestaram concepções baseadas na reprodução de conceitos apresentados em materiais didáticos.

O estudante A4 foi o único a trazer uma definição em termos de composição atômica, considerando a sua natureza particulada. A Figura 2 exhibe a explicação do estudante para a **situação** que traz a definição baseada no modelo atomista.

Figura 2 - Esquema de ação mobilizado pelo aluno A4, referente à situação S1.



Fonte: construção dos autores.

Ainda que mencione os pontos anteriormente elencados, não fica claro o que quis dizer em: “podem chocar entre si ou juntar-se”. Não há indicações explícitas de que se refira à possível colisão entre as subpartículas que compõem o átomo (o que estaria equivocado do ponto de vista científico, uma vez que a matéria é estável, o que impossibilita a ocorrência da colisão entre prótons e elétrons) ou se faz alusão aos processos nucleares de fusão ou fissão nuclear.

Esse resultado indica que embora o estudante aborde em sua resposta certo formalismo científico, ao mencionar a tangibilidade da matéria e seus espaços vazios, sugere uma possível dificuldade para a completa associação dos termos para a explicação ao questionamento. Isto vai ao encontro daquilo que foi discutido por Pozo e Gómez Crespo (2009), de que o fato de estudantes aceitarem que não há “nada” não garante ou não significa que de fato eles compreendam a natureza corpuscular da matéria, bem como o sistema de interação entre as partículas.

Com relação aos estados físicos da matéria, o conceito clássico e racional os define em relação à organização e ao movimento de suas partículas atômicas. Isto é, o modelo atomista sugere que a matéria é composta por partículas (átomos, moléculas e íons) que têm um movimento intrínseco relacionado à sua energia cinética e que se organizam de maneiras diferentes em cada um dos três estados físicos: “Essas diferenças estão associadas às interações interpartículas em cada estado” (Mortimer, 2000, p. 135).

Com relação à questão S2, ainda que se tratasse de uma **situação** que não exigia muito esforço cognitivo, foram observadas concepções alternativas em algumas explicações, cujo uso de termos científicos, por vezes, foi empregado de modo incoerente.

A definição e a classificação dos estados físicos são geralmente ensinadas nas escolas, ainda nas séries iniciais, nas quais usa-se propriedades empíricas para classificar os materiais: a forma e o volume. De acordo com essa concepção empirista, a uma determinada temperatura, os sólidos possuem volume constante e forma própria; os líquidos adquirem a forma do recipiente, contudo apresentam volume constante; os gases, em contrapartida, não têm nem forma nem volume definidos, uma vez que tendem a ocupar todo o recipiente em que são colocados.

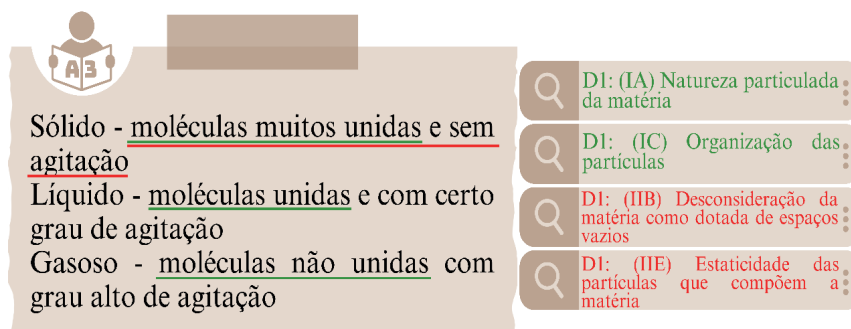
Com a falta de evidências empíricas determinantes para uma hipótese de que os materiais sejam constituídos por partículas em movimento no espaço vazio surgem diferentes concepções alternativas entre os estudantes acerca da agitação molecular.

Nesse estudo, o estudante A3, por exemplo, recorreu à hipótese de que as partículas no estado sólido não apresentam movimentação molecular remetendo à noção de estaticidade das partículas. Essa noção foi muito discutida por Pozo e Gómez Crespo (2009, p. 152), os quais explicam que os estudantes costumam apresentar dificuldades de atribuir movimentação às partículas nos sólidos devido à associação à sua aparência visível “compacta, contínua e sem separação entre os elementos”. No estado sólido as partículas apresentam o movimento vibratório; portanto, o movimento é menor, mas as partículas não estão paradas (Mortimer; Machado, 2013).

Ozmen (2011) salienta que esse tipo de concepção costuma manter, de modo bastante generalizado e persistente, teorias implícitas que os fazem interpretar o mundo microscópico em termos macroscópicos levando-os a rejeitar, ou ao menos a ignorar, o vazio entre as partículas e, assim, a considerar que a matéria é, por natureza, contínua e estática.

O emprego de conceitos e operações do pensamento originando um esquema de ação equivocada do ponto de vista científico é explicitado na resposta fornecida pelo aluno A3, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Esquema de ação mobilizado pelo aluno A3, referente à situação S2.



Fonte: construção dos autores.

A resposta do aluno reflete a falta de esquemas relacionados à aplicação de aspectos submicroscópicos, reconhecendo que o conteúdo é comumente mais trabalhado com relação ao mundo observável, cujo viés realista pode se originar de concepções substancialistas acerca dos átomos ao invés de pensar átomos e moléculas como modelos hipotético-dedutivos (Carriello *et al.*, 2023).

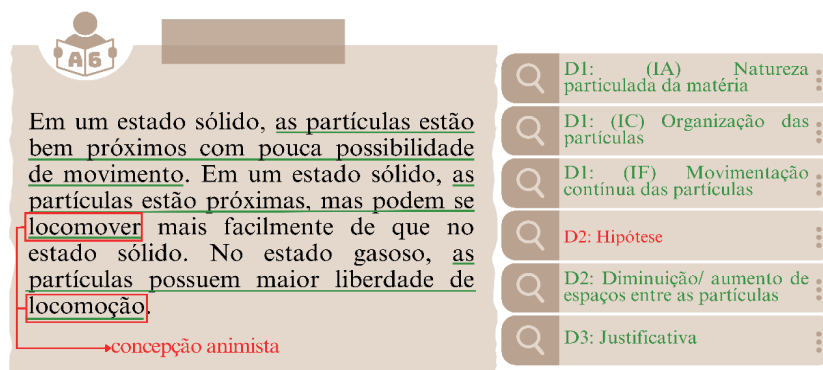
Estudos apontam que os estudantes costumam formular suas explicações, especialmente sobre sólidos e líquidos, relacionadas unicamente com o comportamento físico dos materiais. Uma informação importante é que tais concepções realistas, animistas e substancialistas estão presentes entre os próprios professores de Química e de Física (Mortimer, 2000).

A dificuldade identificada (movimento intrínseco das partículas) revela uma lacuna pontual na compreensão do campo conceitual do Atomismo, o que pode influenciar a efetiva aprendizagem desse conteúdo. Essas dificuldades, afetam a adaptação de esquemas a novas situações. Por isso, é fundamental que o estudante seja levado a explicitar suas concepções e identificar dificuldades evidenciadas em seus conhecimentos prévios para que possa avançar no campo conceitual (Vergnaud, 2017). Cabe acrescentar que o estudante não elaborou sua resolução tratando de justificativas ou inferências.

Os estudantes dificilmente utilizam aspectos de um modelo atomista em suas explicações sobre a noção de movimento intrínseco das partículas. Concernente a esta concepção de matéria há um conceito sensorialista de estado físico fortemente relacionado às aparências visíveis e aspectos sensoriais dos materiais (Carriello *et al.*, 2023; Mortimer, 2000).

Sobre a concepção do estudante A6, um fato digno de nota é o uso do verbo locomover para explicar a agitação molecular nos estados líquido e gasoso, o que sugere um pensamento animista da matéria - atribuição de ações típicas de seres animados a partículas. Tal pensamento costuma ser empregado de duas maneiras, por força de expressão ou em comparação com sensações e sentimentos humanos (Carriello *et al.*, 2023). Apesar disso, o estudante empregou conceitos em acordo com o modelo cientificamente aceito ao mencionar aspectos como movimento e distância entre as partículas, conforme pode ser observado na resposta a seguir. A Figura 4 a seguir exibe a explicação do sujeito A6 para a **situação**.

Figura 4 - Esquema de ação mobilizado pelo aluno A6, referente à situação S2.



Fonte: construção dos autores.

Um ponto interessante a ser considerado nessa discussão é que associadas a concepções substancialistas e/ou animistas dos estudantes podem estar outras concepções sobre a matéria nos diferentes estados; a superestimação da distância entre as partículas de um líquido em relação ao sólido e/ou a subestimação da distância entre as partículas do gás em relação ao líquido (Mortimer, 2000; Melo; Silva, 2019).

Nessa vertente, tais concepções podem acarretar erros, se não submetidas à ação mediadora do professor. Tal afirmação, se baseia no fato de que o professor é responsável em promover situações problematizadoras para que tais concepções sejam evidenciadas e aperfeiçoadas, sempre que preciso (Vergnaud, 2017).

A seguir, é mostrado no Quadro 5 o cenário dos esquemas mobilizados pelos estudantes à situação de baixo nível cognitivo. Cabe frisar que, com exceção de A3 e A4, todos os participantes da pesquisa mobilizaram esquemas associados ao levantamento de hipóteses em eventos submicroscópicos mediados por conceitos pertinentes ao modelo aceito.

Quadro 5 - Sobreposições de conceitos e invariantes operatórios nos esquemas de ação mobilizados durante a resolução da situação S2 (LOCS).

CONCEITOS		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
GRUPO I Em acordo	Descontinuidade da matéria		h				h	h
	Substâncias químicas ocupam volume							
	Organização das partículas	h				h	h	h
	Movimentação intrínseco das partículas	h	h/r			h	h/r	h/r/d
GRUPO II Em desacordo	Desconsideração da existência de espaços vazios							
	Estaticidade das partículas que compõem a matéria							

Fonte: construção dos autores.

Os esquemas referentes à relação temperatura/agitação molecular e concepção de hipóteses para eventos submicroscópicos, teoricamente esperados para o desempenho dos sujeitos, foram

coerentemente articulados para essa **situação**. Sobre as diferenças observadas nas explicações do sujeito, cabe considerar o que Vergnaud (2013) propõe: há alunos que compreendem certos conceitos, mas não outros, daí origina-se a notável complexidade didática, já que o desenvolvimento cognitivo não ocorre de modo uniforme entre os aprendizes.

O resultado indicado demonstra que o conceito de descontinuidade da matéria aparece nas respostas dos sete estudantes, o que pode estar relacionado ao fato de o termo “partículas” estar presente no texto do questionamento da **situação** em análise. Vale citar que a menção do termo foi considerada como requisito para a identificação da noção de descontinuidade.

Entretanto, não é possível garantir que a noção de descontinuidade seja totalmente compreendida pelos estudantes, uma vez que sua compreensão implica na capacidade de generalização dos aspectos da estrutura da matéria, tais como as mudanças de estados físicos, fenômenos de dissolução e mesmo a difusão dos gases. Essa última foi abordada em uma das questões de alto nível cognitivo e as respostas demonstraram que os estudantes não associaram a noção de descontinuidade e teoria atômico-molecular dos gases como explicação para o fenômeno observado.

Há uma quantidade significativa de estudantes que não utilizam a teoria das partículas, o que é preocupante, pois se o estudante não concebe a matéria como algo descontínuo, é pouco provável que ele faça associações coerentes entre os termos e por isso, terá dificuldades na compreensão de diferentes conceitos na química (Melo; Silva, 2019).

As situações de Alta Ordem Cognitiva propostas na pesquisa são caracterizadas pela necessidade de um esquema de ação híbrido entre a teoria cinética e o aumento dos espaços entre as moléculas que compõem a matéria, o que permitiria aos alunos aludirem à necessidade de considerar a influência da temperatura nos sistemas.

As explicações produzidas para essas situações diferem-se qualitativamente daquelas elaboradas para a explicação sobre o comportamento das partículas nos diferentes estados físicos, especialmente no que se refere ao uso correto de conceitos e invariantes operatórios. O Quadro 6 traz o panorama dos esquemas mobilizados pelos estudantes para a questão S3, de Alta Ordem Cognitiva, para a qual os estudantes deveriam propor uma melhor forma de separar copos de vidro grudados uns nos outros sem danificá-los.

Quadro 6 - Sobreposições de conceitos e invariantes operatórios nos esquemas de ação mobilizados durante a resolução da situação S3 (HOCS).

CONCEITOS		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
GRUPO I Em acordo	Dilatação		h				h	h
GRUPO II Em desacordo	Desconsideração da existência de espaços vazios							
	Anulação da natureza corpuscular da matéria							

Fonte: construção dos autores.

Uma resposta pertinente para essa **situação** envolveria a premissa do aquecimento do copo inferior e o resfriamento do superior, pois o aquecimento do copo provocaria uma breve dilatação no material ocasionada pela agitação molecular e posterior afastamento entre elas. O resfriamento

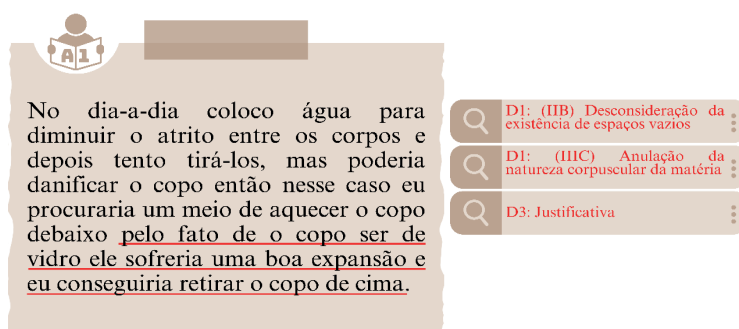
do copo superior, em contrapartida, serviria para provocar o efeito contrário, a fim de desprendê-los sem prejuízos.

É possível notar, no entanto, que os estudantes não adotaram, como subsídios de suas explicações, conceitos relacionados a aspectos submicroscópicos, como o comportamento das partículas, muito embora tenha sido solicitada uma explicação com base nos conceitos explorados na intervenção. Com isso, as sobreposições de conceitos e invariantes operatórios mostraram-se pobres conceitualmente quando comparadas com a **situação S2**.

De modo geral, as respostas corroboram pesquisas que sugerem certa correlação entre modelos corpusculares incorretos e explicações macroscópicas, isto é, os estudantes dificilmente conseguem fazer interpretação de fenômenos observáveis sem adotar um modelo baseado no perceptivo em detrimento a um modelo abstrato (Melo; Silva, 2019).

Entende-se, no entanto, que a **situação** em foco não apontava explicitamente as noções de Atomismo, o que pode ter influenciado resoluções retratando conhecimentos cotidianos dos sujeitos, conforme pode ser observado na resposta de A1, ilustrada na Figura 5.

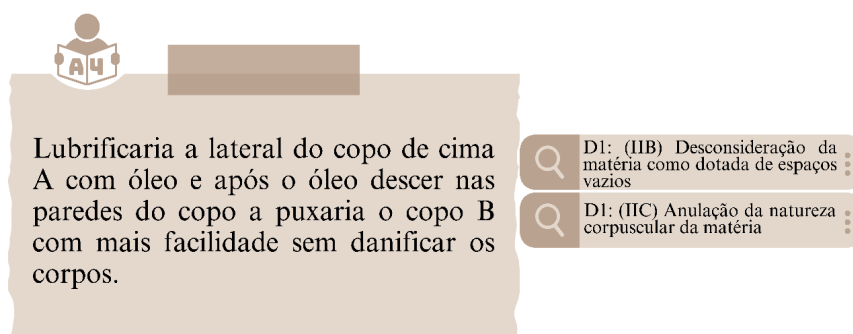
Figura 5 - Esquema de ação mobilizado pelo aluno A1, referente à situação S3.



Fonte: construção dos autores.

Ainda que indique uma possibilidade de resolução da **situação**, a resposta apresentada não retrata nenhum conceito relacionado ao modelo Atomista. Desse modo, foi considerada insuficiente do ponto de vista do foco da pesquisa, pois não empregou esquemas referentes ao campo conceitual. A Figura 6 a seguir ilustra a explicação do estudante A4 à **situação**.

Figura 6 - Esquema de ação mobilizado pelo aluno A4, referente à situação S3.



Fonte: construção dos autores.

Nessa **situação**, muito mais do que recordar conceitos, os estudantes deveriam fazer associações importantes entre os conceitos a fim de propor explicações plausíveis. Muito embora S2 e S3 tratem do mesmo campo conceitual, em que os aspectos necessários para resolver S2 seriam o cerne para a explicação de S3, elas pertencem a universos conceitualmente distintos em diferentes demandas cognitivas. Sobre isso, Vergnaud (1990) elucida que dado grupo de conceitos e invariantes operatórios deveria ser mobilizado para situações de uma mesma classe.

A **situação** S4 solicitava dos estudantes uma explicação para o enchimento do balão contido na extremidade de uma garrafa após o aquecimento do sistema. Ao analisar as respostas para essa **situação**, que aborda conceitos vinculados ao Atomismo de modo mais explícito, foi possível notar uma maior quantidade de menções de conceitos em acordo com o conhecimento científico em relação às demais. Contudo, associados a estes, foram observados conceitos em desacordo com o modelo científico, os quais não foram elucidados nas outras. O Quadro 7 demonstra o panorama de conceitos inferidos das respostas dos estudantes à **situação** S4.

Quadro 7 - Sobreposições de conceitos e invariantes operatórios nos esquemas de ação mobilizados durante a resolução da situação S4 (HOCS).

CONCEITOS		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
GRUPO I Em acordo	Natureza particulada da matéria							
	Substâncias químicas ocupam volume	h		d/r			r	
	Dilatação	h		d	h			
	Movimentação contínua das partículas		h/r	r			h/r	r
GRUPO II Em desacordo	Desconsideração da matéria como dotada de espaços vazios							
	Anulação da natureza corpuscular da matéria							
	Excitação eletrônica							
	Rearranjo dos átomos							
	Vapor de água no sistema				h			

Fonte: construção dos autores.

Nesta **situação**, os estudantes deveriam analisar como uma variável específica afeta o sistema e incluir essa análise em suas respostas. Especificamente, deveriam elaborar uma explicação baseada na expansão do ar presente na garrafa devido ao aquecimento, que provoca a agitação molecular do ar e, conseqüentemente, o afastamento entre as moléculas observado pelo aumento do volume evidenciado no balão.

Os resultados revelaram que, embora os estudantes tenham mobilizado conceitos científicos corretos, frequentemente os associaram de forma inadequada em suas explicações. O aluno A1, por exemplo, estabeleceu uma relação incorreta entre excitação eletrônica e expansão do ar no sistema, comparação cientificamente inconsistente, pois a expansão gasosa decorre do aumento da distância intermolecular devido ao aquecimento, característica que explica a compressibilidade dos gases (Mortimer; Machado, 2013). A Figura 7 a seguir ilustra a resposta do estudante A1.

Figura 7 - Esquema de ação mobilizado pelo aluno A1, referente à situação S4.

Tomando o gás dentro da bexiga, a água quente da bacia transferirá calor para a garrafa e consequentemente para o balão e então o ar presente no balão se expande aumentando assim o volume. $pV = nRT$. Associando com o atomismo, podemos considerar o ar presente no balão como o elétron, ele irá receber energia em forma de calor que será transferida da água quente para o balão e assim o balão irá expandir, a energia fornecida ao elétron faz ele pular para camadas mais externas tendo assim o aumento do raio com o aumento do número de camadas sendo associada com a expansão do ar do balão.

- D1: (IB) Substâncias químicas ocupam volume
- D1: (IE) Dilatação
- D1: (IID) Excitação eletrônica
- D2: Hipótese
- D3: Justificativa
- D3: Conclusão

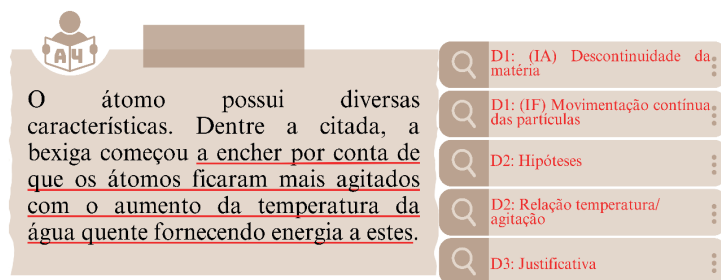
Fonte: construção dos autores.

Embora o estudante tenha referenciado diferentes conceitos científicos válidos, como a lei geral dos gases, a transferência de calor ocorrida no sistema, excitação eletrônica e dilatação, sua explicação para a expansão do ar revela uma apropriação fragmentada desses conceitos. A forma como articula esses conceitos demonstra uma compreensão parcial que resulta numa explicação alternativa, distante do modelo teórico esperado. Portanto, acredita-se que não há uma apropriação efetiva de termos científicos, apenas uma tentativa de repassar um discurso já ouvido.

Sobre isso, Sana (2016) explica que a linguagem científica é uma preocupação no ensino de ciências uma vez que, embora empregadas pelos estudantes, muitos termos científicos não são, fundamentalmente, compreendidos por eles. Consequentemente, esse aspecto é de grande importância, pois o conhecimento científico está relacionado à linguagem científica, por isso, seu domínio torna-se uma competência fundamental para a prática científica e seu aprendizado.

O estudante A4, embora cite termos que remetam à noção de descontinuidade e movimentação das partículas, como “átomos” e “mais agitados”, respectivamente, nota-se uma justificativa parcialmente aceitável, pois apesar de cientificamente correta, não relaciona claramente o aumento do volume do ar ao aumento da energia cinética das partículas que as fazem espalhar-se pelo sistema e, consequentemente, aumentando o volume observado na bexiga. A Figura 8 a seguir ilustra a resposta do estudante A4.

Figura 8 - Esquema de ação mobilizado pelo aluno A4, referente à situação S4.

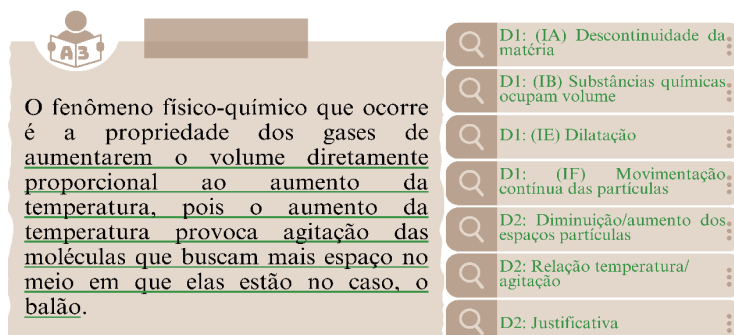


Fonte: construção dos autores.

Nesse caso, ainda que empregue o esquema de ação referente à relação entre o aumento da temperatura e agitação das partículas, o faz de maneira equivocada.

O estudante A3 apresentou o que podemos considerar como um bom desempenho para esse problema, o qual buscou uma explicação considerada cientificamente correta, uma vez que os conceitos nele presentes a validam. Ao admitir a relação entre o aumento da temperatura ao aumento do volume, o estudante evidencia sua influência na agitação molecular que acarreta o distanciamento entre as moléculas gerando o efeito observado no balão. A Figura 9 a seguir ilustra a resposta do estudante A3.

Figura 9 - Esquema de ação mobilizado pelo aluno A3, referente à situação S4.



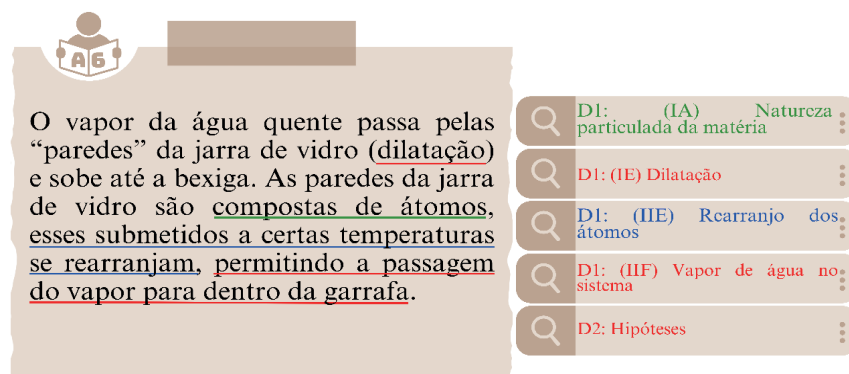
Fonte: construção dos autores.

É importante mencionar que nas demais situações o estudante não teve o mesmo rendimento, visto que fez uso de conceitos em desacordo com o modelo científico mesmo para a **situação** de baixa ordem cognitiva (S1 e S2). Tal resultado valida o que foi mencionado em outro momento, de que o uso de conceitos científicos nem sempre indica um completo domínio de dado campo conceitual. Para isso, é necessário que o sujeito seja capaz de estabelecer relações consistentes entre conceitos, que entre outros fatores, é favorecida pela experiência do sujeito com o conteúdo trabalhado ao longo do período escolar (Vergnaud, 1990).

Um exemplo bastante interessante para essa discussão está representado na Figura 10 que ilustra a resposta do estudante A6. Em sua explicação, o estudante concebe a noção da matéria particulada, menciona o termo dilatação, efetua hipóteses, no entanto, apresenta resolução e,

consequente, articulação conceitual incoerentes. Portanto, compreende-se que não basta empregar conceitos e invariantes operatórios do modelo explicativo, é essencial correlacioná-los adequadamente, vinculando-os à dimensão submicroscópica, para produzir explicações cientificamente consistentes

Figura 10 - Esquema de ação mobilizado pelo aluno A6, referente à situação S4.



Fonte: construção dos autores.

O estudante explica o enchimento do balão a partir do vapor de água proveniente da transformação física da água, sugerindo que, após a evaporação, o vapor de água quente sobe causando o efeito observado. Além disso, sugere um rearranjo dos átomos do vidro para a entrada desse vapor. Tal concepção despreza o ar presente no sistema, cuja dilatação ocasionada pelo aumento da temperatura, aumenta a energia cinética de suas partículas e, conseqüentemente, sua agitação. Tal efeito faz com que essas partículas se choquem mais intensamente com as paredes do frasco e do balão e, com isso, provoca-se um aumento na pressão que o ar exerce sobre as paredes do frasco e do balão, fazendo o balão, que é elástico, inflar (Mortimer; Machado, 2013).

Como anteriormente discutido, nas situações de alto nível cognitivo - aquelas em que o indivíduo não dispõe de elementos suficientes para resolvê-las diretamente - observa-se que a pessoa recorre à combinação e recombinação de diferentes esquemas cognitivos para solucioná-las (Vergnaud, 1990). Nesse ínterim, podem incorrer equívocos que dificultam a ampliação de elementos cognitivos para a elaboração de novos esquemas.

Por essa razão, Vergnaud (2017) destaca o importante papel do professor nos processos de ensino e aprendizagem, no sentido de mediar esses processos a partir da verificação do nível de apropriação do estudante acerca de certo campo conceitual, podendo então auxiliá-los no desenvolvimento de seu repertório de esquemas. Sobre isso, a TCC presume que é improdutivo contornar as limitações conceituais dos estudantes; pois, apenas mediante a identificação e enfrentamento delas é possível superá-las.

Desse modo, o uso de situações abordando o mesmo campo conceitual, mudando apenas seus níveis de complexidade, incorre em repetição, a qual auxilia na memorização e significação de conceitos em diferentes contextos (Cunha *et al.*, 2020). No entanto, se as situações propostas apresentarem o mesmo rigor, a aprendizagem do estudante pode se tornar limitada, daí a importância de submeter os estudantes à resolução de situações em diferentes níveis de cognição.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa pesquisa analisou-se como licenciandos em Química mobilizam operações do pensamento para discutir problemas de conceitualização no ensino de Atomismo, considerando o papel mediador do professor, que deve planejar e avaliar com cautela, pois sua atuação é crucial para transformar essas operações em conceitos e teoremas científicos (invariantes operatórios). Esse processo ocorre quando as concepções dos alunos são explicitadas durante situações de negociação conceitual, que permitem ampliar ou modificar invariantes operatórios - os quais, se não conscientizados, tornam-se obstáculos à aprendizagem.

Os dados demonstram que os licenciandos mobilizaram esquemas de ação associados a concepções alternativas e conceitos coerentes ao modelo vigente do Atomismo. Tal resultado corrobora a literatura, que aponta a resistência dessas concepções alternativas à instrução pedagógica, mesmo em nível universitário. Em alguns casos, essas concepções podem até ser reforçadas por tentativas infrutíferas de aproximação com o modelo corpuscular, particularmente na representação do movimento intrínseco das partículas no estado sólido.

Nesse sentido, conforme aponta a TCC, a construção do domínio conceitual configura-se como um processo complexo, que requer tempo, caracteriza-se por avanços e retrocessos e apresenta especificidades individuais. Tal aspecto pode justificar o fato de que, mesmo após o período de instrução, os estudantes tenham apresentado um desempenho ainda sustentado por concepções conceitualmente frágeis.

Outro ponto a ser destacado é o papel dos esquemas de ação como articuladores de habilidades cognitivas. Observa-se que alguns estudantes, embora utilizem invariantes operatórios apropriados para resolver uma **situação** de baixa ordem cognitiva, não os utilizaram nas situações de alta ordem cognitiva.

Com relação ao conteúdo estudado, evidencia-se a necessidade de integrar mais profundamente três aspectos fundamentais: (1) as interações entre partículas, (2) seu movimento intrínseco e (3) sua organização nos diferentes estados da matéria. Essa abordagem unificada deve contemplar especificamente: o movimento vibracional em sólidos, como o aquecimento aumenta a energia cinética das partículas (alterando temperatura e, no caso de gases, pressão), e como essas variações energéticas levam às mudanças de estado físico.

Nesse sentido, acrescenta-se a essa discussão a importância de valorizar situações que exijam diferentes demandas cognitivas, de modo que os estudantes tenham a oportunidade de comunicar seus modelos implícitos como exercício de metacognição. O ato de explicar ou explicitar os conhecimentos constitui uma forma de avaliar o que se pensa saber e, conseqüentemente, uma fonte de novas aprendizagens. A partir disso, o professor pode acessar elementos cognitivos do estudante, auxiliando-o a progredir no domínio de dado campo conceitual em questão.

Logo, dominar esse campo conceitual, muito mais do que compreender conceitos, exige o domínio de técnicas para incorporar informações, aplicá-las em contextos variados, compreender seu significado e, por fim, não apenas assimilar explicações, mas também elaborar explicações coerentes.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P.; JONES, L. **Principios de Química: los caminos del descubrimiento**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CARRIELLO, G. M. *et al.* Concepções alternativas sobre átomos em licenciandos: indícios de ciclo vicioso no ensino de química. **Campo Abierto: Revista de Educación**, v. 42, n. 2, p. 97-106, 2023. DOI: 10.17398/0213-9529.42.2.97

CEDRAN, D. P.; KIOURANIS, N. M. M. Teoria dos Campos Conceituais: visitando seus principais fundamentos e perspectivas para o ensino de ciências. **Actio: docência em ciências**, v. 4, n. 1, p. 63-86, 2019.

CEDRAN, D. P.; CEDRAN, J. C.; KIOURANIS, N. M. M. A importância da simbologia no ensino de Química e suas correlações com os aspectos macroscópicos e moleculares. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 9, n. 4, p. 38-57, 2018.

CUNHA, K. M. A. *et al.* O conceito de ácidos e bases na formação inicial de professores de química na perspectiva da teoria dos campos conceituais. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e45591211331-e45591211331, 2020.

FERREIRA, L. N. de A. **Textos de divulgação científica para o ensino de química: características e possibilidades**. 2013. 290f. (Tese de doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2013.

HU, B.; ZHU, L.; BI, H. Effect of Computer Simulations on Student Ability to Translate Chemical Representations When Learning the Particulate Nature of Matter Concept. **Journal of Chemical Education**, v. 101, n. 10, p. 4149-4160, 2024.

MELO, M. S. de; SILVA, R. R. da. Os três níveis do conhecimento químico: dificuldades dos alunos na transição entre o macro, o submicro e o representacional. **Revista Exitus**, v. 9, n. 5, p. 301-330, 2019.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em ensino de ciências**, v. 7, n. 1, p. 7-29, 2002.

MIRANDA, L. M. Atravessar paredes: coisa de ficção? **Ciência Hoje**, 373, 2021.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. 1. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

MORTIMER, E. F.; Machado, A. H. **Química: ensino médio**. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2013.

OZMEN, H. Turkish Primary Students' Conceptions about the Particulate Nature of Matter. **International Journal of Environmental and Science Education**, v. 6, n. 1, p. 99-121, 2011.

POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

POZO, J. I. *et al.* **Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química**. Madrid: Centro de Publicación do Ministerio de Educación e Ciencia: C.I.D.E, 1991.

REIS, J. M. C.; KIOURANIS, N. M. M.; SILVEIRA, M. P. Um olhar para o conceito de átomo: contribuições da epistemologia de Bachelard. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 3-26, 2017.

SAMESLA, V. E.; EICHELER, M. L.; PINO, J. C. A elaboração conceitual em realidade escolar de noções de conservação da matéria. **REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v. 6, n. 3, p. 496, 2007.

SANA, T. C. V. **Produção de diferentes mídias na investigação de modelos de estudantes do ensino médio sobre mudanças de estados físicos da matéria**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

TABER, K. S. Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 2, p. 156-168, 2013.

VERGNAUD, G. Psicologia do desenvolvimento cognitivo e didática das matemáticas. Um exemplo: as estruturas aditivas. **Análise psicológica**, v. 1, n. 5, p. 75-90, 1986.

VERGNAUD, G. La teoría de los campos conceptuales. **Recherches en didactique des mathématiques**, v. 10, n. 2, p. 3, 1990.

VERGNAUD, G. Pourquoi la théorie des champs conceptuels? **Infancia y Aprendizaje**, v. 36, n. 2, p. 131-161, 2013.

VERGNAUD, G. **Piaget e Vygotsky em Gérard Vergnaud**: Teoria dos campos conceituais (TCC). Porto Alegre: GEEMPA, 2017.

ZOLLER, U. Algorithmic, LOCS and HOCS (chemistry) exam questions: Performance and attitudes of college students. **International Journal of Science Education**, v. 24, n. 2, p. 185-203, 2002.