

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

RENATA REIS PEREIRA

**PERFIL CONCEITUAL DE MOLÉCULA: HETEROGENEIDADE DE MODOS  
DE PENSAR E FALAR NO ENSINO SUPERIOR DE QUÍMICA**

Belo Horizonte

2020

RENATA REIS PEREIRA

**PERFIL CONCEITUAL DE MOLÉCULA: HETEROGENEIDADE DE MODOS  
DE PENSAR E FALAR NO ENSINO SUPERIOR DE QUÍMICA**

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

Linha de Pesquisa: Educação em Ciências

Orientador: Eduardo Fleury Mortimer

Belo Horizonte

2020

P436p  
T      Pereira, Renata Reis, 1988-  
         Perfil conceitual de molécula [manuscrito] : heterogeneidade de  
         modos de pensar e falar no ensino superior de Química / Renata  
         Reis Pereira. - Belo Horizonte, 2020.  
         176 f. : enc, il.

         Tese -- (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais,  
         Faculdade de Educação.  
         Orientador: Eduardo Fleury Mortimer.  
         Bibliografia: f. 166-172.  
         Apêndices: f. 173-176.

         1. Educação -- Teses. 2. Química -- Estudo e ensino (Superior)  
         -- Teses. 3. Química -- Métodos de ensino -- Teses. 4. Moléculas --  
         Modelos -- Estudo e ensino (Superior) -- Teses. 5. Ensino superior --  
         Teses.

         I. Título. II. Mortimer, Eduardo Fleury. III. Universidade Federal  
         de Minas Gerais, Faculdade de Educação.

CDD- 540.7

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

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



## ATA DA DEFESA DE TESE DA ALUNA RENATA REIS PEREIRA

Realizou-se, no dia 26 de agosto de 2020, às 14:00 horas, On-line, da Universidade Federal de Minas Gerais, a 763ª defesa de tese, intitulada *Perfil conceitual de molécula: heterogeneidade de modos de pensar e falar no ensino superior de Química*, apresentada por RENATA REIS PEREIRA, número de registro 2016661075, graduada no curso de QUÍMICA/NOTURNO, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Eduardo Fleury Mortimer - Orientador (UFMG), Prof(a). Orlando Gomes de Aguiar Junior (UFMG), Prof(a). Edenia Maria Ribeiro do Amaral (UFRPE), Prof(a). Fernando César Silva (UFMG), Prof(a). Melquesedeque da Silva Freire (UFRN).

A comissão considerou a tese: aprovada, destacando a relevância da temática para a área e as diferentes abordagens ao objeto que permitiram consolidar um perfil para o conceito de molécula e suas implicações para o ensino e a formação de professores.

A Banca sugeriu e o candidato acatou a mudança de título de tese para: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.  
Belo Horizonte, 26 de agosto de 2020.

Prof(a). Eduardo Fleury Mortimer (Doutor)

Prof(a). Orlando Gomes de Aguiar Junior (Doutor)

Prof(a). Edenia Maria Ribeiro do Amaral (Doutora)

Prof(a). Fernando César Silva (Doutor)

Prof(a). Melquesedeque da Silva Freire (Doutor)

Dedico este trabalho, especialmente, à minha mãe, sempre presente em meu coração e que me incentivou a alçar voos altos e acreditar em sonhos “impossíveis”. Ela sabia que eu os alcançaria!

## AGRADECIMENTOS

Muitas são as pessoas que me incentivaram nessa jornada acadêmica. Expressarei aqui, de forma carinhosa, uma breve mensagem àquelas que contribuíram diretamente para que esse momento final fosse possível. No entanto, vale lembrar que muitas outras, mesmo que indiretamente, tiveram um papel importante.

Agradeço imensamente:

A Deus, pelo dom da vida e pela sabedoria que me foi concedida.

Aos meus pais, por todos ensinamentos e valores passados ao longo desta jornada que compartilhamos aqui na Terra. Das lembranças de minha mãe, carrego o exemplo de força e determinação. Da vivência com meu pai, carrego o amor incondicional e a forma simples de viver a vida.

Ao Marcelo, meu grande companheiro! Sem dúvidas, esses 12 anos de percurso acadêmico seriam mais árduos sem a sua leveza e alegria de viver. Obrigada por compreender minhas irritações, meus infundáveis finais de semana de estudo e, ainda, por sempre me incentivar a ir para a próxima etapa, mesmo sabendo das dificuldades que enfrentaríamos. Você sabe que, se não fosse por você, eu não teria entrado na graduação nem permanecido no doutorado após o primeiro semestre.

À Isabela, minha filha amada, que veio interromper os estudos do doutorado e dar um ritmo diferente a eles. Hoje, tudo na vida passou a ser enxergado de outra maneira.

Ao Thiago, meu irmão, por se orgulhar das minhas conquistas, e à Izabella, minha irmã de alma, presença diária na minha vida e que me incentiva a ser cada vez melhor.

À família Pereira, sempre tão presente proporcionando momentos de imensa alegria e que tanto admira minhas conquistas.

À Maria do Carmo e ao Cardoso, sempre tão generosos comigo e que me incentivam como pais.

Ao Eduardo, meu “eterno” orientador, que tanto me ensinou desde a iniciação científica. Obrigada por acreditar no meu potencial e sempre me incentivar a ser uma professora e pesquisadora da rede pública. Sem dúvidas, você é parte responsável pela carreira que estou trilhando. Encerramos aqui o ciclo estudante/orientador, mas não tenho dúvidas de que iniciamos agora uma nova etapa como colegas de profissão e área de pesquisa, o que me deixa muito honrada.

Aos colegas do grupo FOCO da FaE-UFMG, por tantos momentos bons compartilhados e conversas divertidas. Agradeço também aos diversos alunos de IC que

contribuíram com o trabalho. Espero continuar participando das festinhas de encerramento do semestre.

Aos colegas de trabalho da UFLA e, especialmente, à Marianna, que partilhou comigo diariamente as lutas da rotina de trabalho e os dilemas com os estudos do doutorado, pela compreensão. Também ao professor Sérgio pela colaboração com minha pesquisa.

Ao pessoal da secretaria da pós-graduação, sempre tão gentis e solícitos.

Aos professores Orlando, Melquesede, Fernando e Edênia, por aceitarem o convite para compor a banca de avaliação deste trabalho. Em especial, agradeço à Edênia e ao Orlando pelas importantes contribuições no exame de qualificação.

## RESUMO

Nesta tese, buscamos remodelar o perfil conceitual de molécula baseado no perfil pré-estabelecido por Mortimer e Amaral (2014). Realizamos a coleta de dados empíricos em cursos de graduação em Química seguindo as bases metodológicas do programa de pesquisa em perfis conceituais. Nesse sentido, foram analisados dados obtidos em livros didáticos indicados para o ensino superior, questionários, entrevistas e aulas de química, todos desse nível de ensino. Após análise e diálogo entre os dados, propusemos o novo perfil conceitual de molécula constituído por seis zonas: primeiros princípios, substancialismo, átomos geometricamente arranjados, composicionista, interacionista e molécula moderna. As zonas foram delimitadas por compromissos epistemológicos e ontológicos que foram identificados nas diversas formas de falar e pensar reconhecidos nos dados. Dos questionários, observamos, por exemplo, a predominância das zonas interacionista, composicionista e átomos geometricamente arranjados, respectivamente; nas aulas de química e nos livros, verificamos que ainda há o uso do substancialismo. Posteriormente, produzimos e aplicamos uma atividade envolvendo as zonas do novo perfil de molécula de forma a abordá-las em uma única aula. Essa atividade foi executada em aulas de Química Orgânica do ensino superior e da pós-graduação. Observamos que os modos de pensar e falar sobre as mesmas questões diferiram nos dois níveis de ensino e que os estudantes da pós-graduação têm uma maior apropriação das formas de falar relativas à zona molécula moderna. Alguns estudantes sinalizaram que fazem escolhas das formas de falar sobre molécula dependendo do contexto de uso da fala, ou seja, podemos perceber que eles têm a consciência do perfil e do uso de diversas zonas em diferentes contextos. O perfil proposto neste trabalho apresenta zonas que remetem aos princípios básicos da química, o que demonstra sua relevância e importância para a área. Além disso, o estudo ressalta a importância e a centralidade do conceito de molécula no ensino de química. Entendemos que determinados conteúdos abordados nas aulas podem favorecer o surgimento de algumas zonas específicas desse perfil, além de que parece haver variações do uso de zonas em relação às diferentes representações de molécula. A consciência desse perfil pode auxiliar o professor no planejamento de atividades que promovam o entendimento das distintas formas de falar e modos de pensar para resolver problemas distintos. Os estudantes também precisam ter consciência desse perfil para, então, perceberem que as formas de falar e os modos de pensar sobre molécula não são igualmente poderosos para resolver problemas distintos.

Palavras-chave: Perfil Conceitual. Molécula. Ensino Superior. Ensino de Química.



## ABSTRACT

In this thesis we seek to consolidate the conceptual profile of molecule based on the profile pre-established by Mortimer and Amaral (2014). We conducted empirical data collection in undergraduate courses in Chemistry following the methodological bases of the research program in conceptual profiles. In this sense, data obtained from textbooks indicated for higher education, questionnaires, interviews and chemistry classes, also from this level of education, were analyzed. After analysis and dialogue between the data, we proposed the new conceptual profile of molecule consisting of six zones: first principles, substantialism, geometrically arranged atoms, compositionist, interactionist and modern molecule. The zones were delimited by epistemological and ontological commitments that were identified in the different ways of speaking and ways of thinking identified in the data. We observed in the questionnaire data, for example, the predominance of the interactionist, compositionist zones, geometrically arranged atoms, respectively. In chemistry classes and books we see that substantialism is still used. Subsequently, we produced and applied an activity involving the zones of the new molecule profile in order to address them in a single class. This activity was applied in organic chemistry classes in higher education and in graduate school. We observed that the ways of thinking and speaking, on the same issues, differed in the two levels of education and that graduate students have a greater appropriation of the forms of speech related to the modern molecule zone. Some students indicated that they make choices about the ways of talking about molecules depending on the context of speech use, that is, we can see that they are aware of the profile and the use of different zones in different contexts. The profile proposed in this work presents zones that refer to the basic principles of chemistry, which demonstrates its relevance and importance for the area. In addition, the study highlights the importance and centrality of the molecule concept in the teaching of chemistry. We understand that certain contents covered in the classes may favor the appearance of some specific zones of this profile and, we also observed, that there seems to be variations in the use of zones in relation to the different representations of molecules. The teacher being aware of the conceptual profile of the molecule can assist in the planning of activities that promote the understanding of the different ways of speaking and thinking to solve different problems. Students also need to be aware of this profile and then realize that the ways of talking and the ways of thinking about molecules are not equally powerful in solving different problems.

Keyword: Conceptual Profile. Molecule. Higher Education. Teaching Chemistry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do percurso metodológico -----	36
Figura 2 – Dimensões do conhecimento químico -----	41
Figura 3 – Aspectos das substâncias e materiais -----	43
Figura 4 – Aspectos do conhecimento químico -----	43
Figura 5 – Características de um perfil conceitual -----	45
Figura 6 – Relações potenciais entre as zonas do perfil conceitual de química e facetas da química -----	47
Figura 7 – Primeiro slide apresentado na aula pelo professor -----	144
Figura 8 – Segundo slide apresentado na aula pelo professor -----	145

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 1 -----	109
Gráfico 2 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 2, item “a” -----	112
Gráfico 3 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 2, item “b” -----	114
Gráfico 4 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 2, item “c” -----	116
Gráfico 5 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 3 -----	118
Gráfico 6 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 4 -----	120
Gráfico 7 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 6, item “a” -----	122
Gráfico 8 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 6, item “b” -----	124
Gráfico 9 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 7, item “c” -----	129
Gráfico 10 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 8 -----	131
Gráfico 11 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 9 -----	134
Gráfico 12 – Frequência das zonas nas respostas do questionário completo -----	135
Gráfico 13 – Percentual das zonas observadas nos questionários aplicados na disciplina Química Geral -----	138
Gráfico 14 – Percentual das zonas observadas nos questionários aplicados na disciplina Química Inorgânica -----	139
Gráfico 15 – Percentual das zonas observadas nos questionários aplicados na disciplina Introdução à Estrutura da Matéria -----	140

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Zonas do perfil conceitual de molécula e suas definições -----	62
Quadro 2 – Formas de falar, os compromissos estabelecidos e as zonas que remetem ---	64
Quadro 3 – Zonas e trechos identificados no livro de Química Geral -----	73
Quadro 4 – Zonas e trechos identificados no livro de Físico – Química -----	75
Quadro 5 – Zonas e trechos identificados no livro de Bioquímica -----	76
Quadro 6 – Zonas e trechos identificados no livro de Física Quântica -----	78
Quadro 7 – Zonas e trechos identificados no livro de Química Orgânica -----	79
Quadro 8 – Zonas do perfil e trechos das respostas das entrevistas -----	82
Quadro 9 – Zonas do perfil e falas do professor 1 -----	88
Quadro 10 – Zonas do perfil e falas do professor 2 -----	90
Quadro 11 – Zonas do perfil e falas do professor 3 -----	92
Quadro 12 – Zonas do perfil e falas do professor 4 -----	94
Quadro 13 – Zonas e trechos identificados na questão 1 -----	106
Quadro 14 – Zonas e trechos identificados na questão 2, item “a” -----	110
Quadro 15 – Zonas e trechos identificados na questão 2, item “b” -----	113
Quadro 16 – Zonas e trechos identificados na questão 2, item “c” -----	115
Quadro 17 – Zonas e trechos identificados na questão 3 -----	117
Quadro 18 – Zonas e trechos identificados na questão 4 -----	118
Quadro 19 – Zonas e trechos identificados na questão 6, item “a” -----	121
Quadro 20 – Zonas e trechos identificados na questão 6, item “b” -----	123
Quadro 21 – Zonas e trechos identificados na questão 7 -----	125
Quadro 22 – Zonas e trechos identificados na questão 8 -----	129

Quadro 23 – Zonas e trechos identificados na questão 9 ----- 131

Quadro 24 – Zonas do perfil e as questões em que apareceram ----- 137

## SUMÁRIO

<b>Introdução</b> .....	14
<b>Capítulo 1 – Perfil conceitual</b> .....	19
<b>1.1 O perfil conceitual – Bases teóricas</b> .....	20
<b>1.2 O perfil conceitual de molécula</b> .....	27
<b>Capítulo 2 – Metodologia de pesquisa</b> .....	30
<b>2.1 A metodologia dos perfis conceituais</b> .....	31
<b>2.2 O percurso metodológico deste trabalho</b> .....	32
<b>Capítulo 3 – O ensino de química e os conceitos abstratos</b> .....	38
<b>3.1 O ensino de química e o ensino superior no Brasil</b> .....	39
<b>3.2 Concepções alternativas para conceito de molécula e conceitos correlatos</b> ----	48
<b>Capítulo 4 – O novo perfil conceitual de molécula: as zonas e os seus compromissos</b> --- .....	58
<b>Capítulo 5 - Análise dos dados empíricos</b> .....	71
<b>5.1 Análise de livros didáticos</b> .....	72
<b>5.2 Análise das entrevistas</b> .....	81
<b>5.3 Análise das aulas de ensino superior</b> .....	87
<b>5.4 Análise do questionário</b> .....	97
<b>5.4.1 - Questionário com as respostas e zonas esperadas para cada questão</b> -	98
<b>5.4.2 - A análise das questões</b> .....	106
<b>5.4.3 - Considerações gerais sobre a análise do questionário</b> .....	134
<b>Capítulo 6 – Proposta e aplicação de atividade com perfil conceitual de molécula</b> ----- .....	142
<b>6.1 A atividade proposta</b> .....	143
<b>6.2 A análise das aulas com aplicação da atividade proposta</b> .....	147
<b>6.2.1 – A aula de Orgânica na graduação</b> .....	147
<b>6.2.2 – Aula de Orgânica na pós-graduação</b> .....	153

<b>6.3 – Considerações finais sobre a análise da atividade</b> -----	158
<b>Capítulo 7 – Considerações finais</b> -----	161
<b>Referências</b> -----	166
<b>Anexos</b> -----	173

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, diversas pesquisas têm sido realizadas acerca do modelo de perfil conceitual (SEPÚLVEDA, 2010; SILVA, 2006; COUTINHO, 2005; AMARAL, 2004). Esses trabalhos consolidaram um programa de pesquisa que estava sendo desenvolvido desde os primeiros estudos realizados por Mortimer (1995).

Para além da consolidação, esses estudos apontam para a importância da realização de pesquisas com perfis conceituais em diversas áreas do conhecimento, fazendo com que essa temática se tornasse relevante ao questionar o modelo de “mudança conceitual” (POSNER *et al.*, 1992) e criar novas perspectivas para o entendimento do ensino-aprendizagem de determinados conceitos. A compreensão do processo de aprendizagem no modelo de perfil conceitual é bastante distinta daquela proposta pelo modelo da mudança conceitual uma vez que recusa uma de suas ideias centrais: a de que estudantes devem ser levados a romper com suas concepções prévias ao aprender ciências.

No caso do ensino de química, por exemplo, Mortimer (1997) sugere que esse modelo dos perfis conceituais poderia trazer contribuições ao oferecer “novas formas de conectar suas fronteiras, reduzindo a distância entre a vida cotidiana e a ciência contemporânea, entre a química e a cultura”. Baseado nesse argumento, o autor sugere que o perfil conceitual pode contribuir para a química ao auxiliar o químico no entendimento das formas de pensar usadas pela ciência e possibilitar que o estudante conceba a multiplicidade de significados como algo que lhe é natural.

Sepúlveda (2010) fez uma revisão na literatura e concluiu que o modelo de perfis conceituais tem sido aplicado a diferentes conceitos — em sua maioria, nos campos da física e química —, como átomo, molécula e calor. Porém, mais recentemente, foram construídos perfis para conceitos centrais em outros campos das ciências naturais, a exemplo dos conceitos de vida e morte. Na estruturação do programa de pesquisa em perfis conceituais, observamos alguns trabalhos que foram essenciais para consolidar as bases metodológicas.

No trabalho de Coutinho (2005) sobre perfil conceitual de vida, ressalta-se a importância de se produzir questões para os questionários que possam acessar diversas zonas, já que as perguntas podem favorecer ou desfavorecer alguma delas. Sendo assim,



é importante um estudo prévio envolvendo tanto o conceito de maneira histórica e filosófica quanto as concepções prévias dos estudantes para que se possibilite a produção de uma diversidade de questões. Outro aspecto relevante foi a coleta de dados através das entrevistas, pois, segundo o autor, a partir delas foi possível identificar modos de falar que remetiam a duas zonas que ainda não haviam sido identificadas. Ficou, então, evidente a diferença de dados que podem ser obtidos em um momento de interação e na aplicação de um questionário. Além desses aspectos, o referido trabalho introduziu a ideia das categorias expandidas que, após um refinamento dos dados, dão origem às zonas do perfil conceitual.

Silva (2006) trabalhou com o perfil conceitual de vida buscando determinar como varia o perfil ao longo de diferentes períodos entre estudantes de dois cursos superiores: Ciências Biológicas e Farmácia. Baseado nas limitações apontadas por Coutinho (2005) com uso dos questionários, propôs um trabalho no qual realizou uma análise estatística para tratamento dos dados obtidos. Segundo o autor, essa análise possibilitou avaliar o potencial de cada questão na ativação das diferentes zonas do perfil e analisar a evolução dos perfis individuais nos cursos envolvidos na pesquisa.

No trabalho de Sepúlveda (2010), um passo metodológico apresentado na constituição de zonas do perfil de adaptação foi a construção de uma matriz epistemológica. Nela, foram mapeados os aspectos epistemológicos e ontológicos envolvidos na significação do conceito — identificados a partir do exame dialógico de diferentes fontes e dados primários —, que permitem compreender sua gênese e, posteriormente, a individuação das zonas do perfil de adaptação. A autora também ressalta que houve a necessidade de realizar essa matriz já que, ao elaborar um perfil no campo da biologia, observou que a área de domínio não guardava as mesmas relações filosóficas e associações ao perfil epistemológico proposto por Bachelard, diferentemente do que os trabalhos anteriores haviam apresentado. Ainda nesse estudo, a autora utilizou o perfil conceitual que foi proposto para realizar uma análise discursiva de aulas envolvendo o tema “evolução”, baseando-se na ferramenta analítica proposta por Mortimer e Scott (2003). Dessa maneira, foi possível verificar como ocorrem as negociações no discurso e transições entre as zonas em momentos interativos de ensino-aprendizagem.

Expandindo os trabalhos que, em sua maioria, buscavam elaborar perfis conceituais, Araújo (2014) investigou a utilização do perfil conceitual de calor em diferentes comunidades socioculturalmente situadas — técnicos em refrigeração e bombeiros militares. Os resultados obtidos demonstram que pode haver diferentes significados estabelecidos para um mesmo conceito quando este é colocado em uso por diferentes comunidades. Esses conceitos podem ser de uso específico da comunidade e alguns deles dialogam com os científicos sem, contudo, serem equivalentes aos que são veiculados na comunidade escolar. Outros, no entanto, demonstram ter valor pragmático para as comunidades, mas não são conceitos validados pela comunidade científica. Com isso, foi possível concluir que, de fato, a aprendizagem de um conceito é algo dinâmico, permeado por seu uso, que vai estabilizando vários significados — sejam eles científicos ou não.

Ao analisar a literatura e observar o que já havia sido proposto para conceitos no campo da química, observamos que o perfil conceitual de molécula apresentado até o momento baseava-se, apenas, no domínio histórico sociocultural. Porém, de acordo com diversos autores do campo (MORTIMER *et al.*, 2012; SEPÚLVEDA, 2010; AMARAL, 2004), para se consolidar um perfil conceitual é necessário considerar uma diversidade de significados atribuídos a um conceito — em diversos contextos de produção de significados — de modo a abarcar pelo menos três dos domínios genéticos considerados por Vigotski. Wertsch (1985), por sua vez, identificou um quarto plano de desenvolvimento examinado por Vigotski: a microgênese.

Tendo em vista essa perspectiva teórica, a construção de perfis conceituais deve levar em consideração os domínios sociocultural, ontogenético e microgenético. Além disso, essa construção visa a modelar a heterogeneidade dos modos de pensar e falar sobre um conceito. Esses modos estão associados a compromissos ontológicos, epistemológicos e axiológicos dos quais serão delimitadas as zonas que vão compor o perfil conceitual. No capítulo 1, faremos um aprofundamento nas bases teóricas e no capítulo 2, nas bases metodológicas do programa de pesquisa em perfis conceituais.

Para modelar a heterogeneidade, é necessário que se trabalhe com um conceito que seja polissêmico. Nesse sentido, escolhemos trabalhar com o conceito de molécula pois, além de ser polissêmico e central na química, é, também, relevante nas aulas dessa

matéria, de maneira que o seu entendimento é extremamente importante para a aprendizagem de outros conceitos químicos.

Conforme citado, existia, até o momento, apenas um modelo de perfil para o conceito de molécula: aquele relacionado à gênese do conceito a partir das ideias encontradas na história das ciências, que não atendia aos atuais requisitos metodológicos do programa de pesquisa em perfis conceituais. É nesse contexto que se insere a perspectiva deste trabalho de doutorado. Para traçar por completo o perfil conceitual de molécula e suas zonas, faz-se necessário o estudo e o entendimento dos outros domínios genéticos — ontogenético e microgenético — e a ampliação do domínio sociocultural.

Nesse sentido, **o objetivo geral** da pesquisa é remodelar o perfil conceitual de molécula proposto por Mortimer e Amaral (2014).

Para atender aos requisitos metodológicos do programa de pesquisa em perfis conceituais, foram coletados dados empíricos por meio de estudos da literatura das concepções alternativas, livros didáticos, questionários, entrevistas e análise de aulas de ensino superior.

Além disso, temos os seguintes **objetivos específicos**:

- verificar como as quatro zonas propostas pelo referencial emergem nos dados empíricos;
- compreender se as quatro zonas seriam suficientes para modelar a heterogeneidade das formas de falar e pensar sobre o conceito de molécula;
- propor, a partir dos três domínios genéticos, o novo perfil conceitual de molécula;
- aplicar uma atividade em aulas de ensino superior utilizando as zonas do novo perfil conceitual em um único encontro;
- examinar as implicações da heterogeneidade de modos de pensar e falar sobre moléculas, no ensino superior e na formação de professores de química.

A pesquisa foi realizada com estudantes de ensino superior matriculados em cursos de Química nas modalidades licenciatura, bacharelado e tecnológica. Dessa forma, as aulas e os materiais didáticos também estavam voltados para esse nível de ensino.

Os questionários e as entrevistas foram realizados com estudantes em diferentes períodos dessas graduações para possibilitar um estudo longitudinal em relação ao entendimento do conceito de molécula ao longo dos cursos. Para atingir esse objetivo, fizemos cortes transversais de modo a trabalhar com estudantes de períodos iniciais, medianos e finais. Consideramos que os dados obtidos dessa maneira podem refletir o que ocorre nos cursos pesquisados, gerando, então, um panorama longitudinal.

O campo de pesquisa inicial foi a Universidade Federal de Minas Gerais, local de realização do doutorado da autora do trabalho, onde foi desempenhada a aplicação dos questionários. Já a atividade de aplicação do perfil definido neste trabalho ocorreu na Universidade Federal de Lavras, local de atuação docente da autora e onde foi possível identificar um professor parceiro para execução da proposta.

Esta tese é composta por uma introdução e sete capítulos. Na introdução, apresentamos a justificativa e contexto no qual a pesquisa se insere. No capítulo 1, identificaremos as bases teóricas que deram aporte a este trabalho. No capítulo 2, descreveremos a metodologia de pesquisa em perfis conceituais e o percurso adotado nessa pesquisa e em nossas análises. No capítulo 3, relacionaremos o ensino de química e seus pilares aos aspectos vinculados à construção de significados abstratos. Além disso, apresentaremos as concepções alternativas para o conceito de molécula e conceitos correlatos, como ligação química e interações intermoleculares. No capítulo 4, demonstraremos o novo perfil conceitual de molécula que foi definido a partir dessa pesquisa, quais são as zonas que o constituem e os compromissos que as delimitam. No capítulo 5, analisaremos os dados empíricos coletados. No capítulo 6, descreveremos a aplicação de uma atividade proposta para o ensino superior com uso do perfil conceitual de molécula. Também realizaremos a análise da aplicação da atividade e relataremos os resultados obtidos. No capítulo 7, faremos as considerações finais em relação a todas as análises e apresentaremos as perspectivas e limitações identificadas na pesquisa.

## **CAPÍTULO 1**

---

### **Perfil conceitual**

### 1.1 - O perfil conceitual – Bases teóricas

A noção de perfil conceitual foi construída por Mortimer (1994; 1995) a partir de uma investigação sobre a evolução das concepções atomistas e do uso dessas concepções para explicar os estados físicos dos materiais por estudantes de ensino básico. Nos primeiros estudos, as ideias eram baseadas em elementos da teoria de Piaget — mais especificamente, no modelo de equilibração majorante (PIAGET, 1975) — e no modelo de mudança conceitual (POSNER *et al.*, 1982). No entanto, com o desenvolvimento de seu trabalho, o pesquisador percebeu que não foi possível detectar mudanças conceituais como resultado da intervenção pedagógica; ao contrário, constatou-se a coexistência entre as ideias prévias e os conceitos científicos construídos nas aulas. Essas observações levaram Mortimer (1994; 1995; 2000) a conceber a evolução conceitual dos estudantes como uma construção de um perfil conceitual que se tornava mais complexo ao longo do processo de aprendizagem, sem implicar o abandono das noções inicialmente usadas por eles. Nesse sentido, há no indivíduo uma coexistência de diferentes formas de pensar um mesmo conceito, as quais podem compor as zonas de um perfil conceitual. Assim, a particularidade de cada perfil conceitual individual não reside propriamente em sua composição em termos de zonas; ela está no peso que essas zonas apresentam no pensamento individual em decorrência das oportunidades que os indivíduos têm de aplicá-las em diferentes contextos de modo eficaz ao longo de suas experiências sociais, seja na educação formal, na vida cotidiana ou no trabalho.

Apesar de cada indivíduo poder apresentar seu próprio perfil conceitual para determinado conceito, as zonas de um perfil são potencialmente compartilhadas por todos os indivíduos de um mesmo contexto sociocultural. A proposta da existência de formas coletivas de pensamento pode ser fundamentada na noção de heterogeneidade do pensamento verbal de Tulviste (1991, p. 19 apud Mortimer *et al.*, 2014a), segundo a qual “em qualquer cultura e em qualquer indivíduo existe, não uma forma homogênea de pensamento, mas diferentes tipos de pensamento verbal”. Em outras palavras, há uma diversidade de significados para uma mesma palavra tanto no contexto científico como no contexto cotidiano. Portanto, diferentes modos de pensar, que caracterizam essa heterogeneidade do pensamento verbal, estão relacionados a diferentes formas de falar.

Essa heterogeneidade pode ser representada por variados modos de pensar, considerados a partir de significados socialmente construídos e estabilizados atribuídos a diferentes experiências vivenciadas pelos sujeitos (MORTIMER *et al.*, 2014a).

A relação individual/social pode ser pensada, também, a partir da perspectiva sociocultural de Vigotski (2001) sobre o desenvolvimento das funções mentais superiores, segundo a qual o pensamento individual é constituído por meio da internalização de mediadores simbólicos — a linguagem, por exemplo — construídos socioculturalmente através das interações sociais. Nessa lógica, as relações sociais fornecem base genética para todas as funções superiores e suas relações, de modo que, mesmo quando efetuados isoladamente pelo indivíduo, os processos mentais permanecem “quase sociais” (VYGOTSKY, 1981).

Segundo Vigotski (2001), o desenvolvimento de conceitos é resultante de uma complexa operação com a palavra ou signo, cujo emprego funcional orienta a atividade de resolução de problemas. Dessa perspectiva, o ensino de um conceito pode ser feito, inicialmente, pela introdução da palavra que o simboliza, uma vez que a palavra é o meio material a partir do qual o significado é mediado. No momento em que o estudante tem o primeiro contato com uma palavra nova e/ou com um determinado significado a ela vinculado, o processo de desenvolvimento do conceito está apenas começando, restando ainda um longo caminho até que essa palavra — e o conceito nela simbolizado — se tornem próprios ao estudante, para que possa, então, aplicá-los de forma arbitrária em outras situações concretas.

Assim, apoiados nesses referentes, os perfis conceituais compreendem um conceito não como uma estrutura cerebral que pode ser lida em voz alta, mas como algo que só existe de maneira estável como parte do conhecimento socialmente construído, tal como se manifesta na forma de linguagens sociais. O pensamento conceitual, por sua vez, é mais dinâmico e só pode adquirir estabilidade — como um processo — por meio de restrições que agem sobre ele, sendo que essas restrições estão ligadas aos significados socialmente estabelecidos dos conceitos. De acordo com esse ponto de vista, é devido ao constrangimento e à influência de significados socialmente estabilizados sobre o processo de produção de sentido que nos tornamos capazes de pensar conceitualmente de maneira tão repetitiva, de modo que acabamos concebendo

os conceitos como entidades internas estáveis, como se eles pudessem ser simplesmente encontrados em nossos cérebros (MORTIMER *et al*, 2014a).

Nesse sentido, Mortimer (1994) propõe a construção de perfis conceituais como uma forma de modelar a heterogeneidade do pensamento e da linguagem. O perfil conceitual é, portanto, uma teoria relacionada ao ensino-aprendizagem de conceitos científicos fundamentado no princípio de que um conceito é polissêmico e seus diversos significados podem ser aplicados em diferentes contextos. Além disso, a teoria de perfil conceitual pressupõe que um único indivíduo pode apresentar diferentes modos de pensar um conceito, que são associados a esses contextos específicos.

Para buscar compreender como se dá a construção e a utilização de conceitos, pode-se elaborar um perfil conceitual que leva em consideração que um ou mais modos de pensar, compatíveis ou não com o conceito científico, estarão presentes na construção do conceito pelo indivíduo (MORTIMER *et al.*, 2012, MORTIMER *et al.*, 2014a). Esses modos de pensar correspondem às chamadas zonas do perfil conceitual. Nessa perspectiva, o modelo de perfis conceituais se tornou uma ferramenta para analisar os modos de pensar e falar, que compartilha pressupostos das teorias de Bakhtin (2000) e de Vigotski (2001).

Com base na aproximação entre a teoria de enunciação do Círculo de Bakhtin e a abordagem de Vigotski sobre o desenvolvimento das funções mentais superiores, as investigações sobre a produção de novos significados em sala de aula poderiam ser organizadas tendo em vista a relação entre modos de pensar, caracterizados a partir de um perfil conceitual, e formas de falar, caracterizadas em termos de noções de linguagem social e gêneros do discurso de Bakhtin (1986). Nessa perspectiva, uma linguagem social pode ser entendida como um discurso peculiar a um estrato específico da sociedade dentro de um dado sistema social e tempo, a exemplo da linguagem profissional e da linguagem de gerações. Um gênero do discurso, por sua vez, está associado a uma forma específica de enunciado — já que inclui formas típicas de expressão que lhe são inerentes, além de temas e situações próprias da comunicação verbal —, estando relacionado ao lugar social e institucional onde o discurso é produzido (BAKHTIN, 2000).



Vigotski buscou explicar como o indivíduo se desenvolve por meio da aprendizagem que ocorre nas interações sociais e como as características tipicamente humanas do comportamento se desenvolvem ao longo da história do homem, levando em conta as interações sociais. Para compreender o desenvolvimento de funções mentais superiores, como a atenção voluntária, a memória lógica, a capacidade de abstração, o controle consciente das ações e a capacidade de pensar conceitualmente, é necessário estudá-las em diferentes domínios genéticos (VIGOTSKI, 2001).

A fim de construir o perfil conceitual de um determinado conceito, é preciso considerar esses mesmos domínios genéticos. Segundo Vigotski, para estudar a gênese de uma função mental superior, é preciso buscar desenvolver um quadro completo dessa gênese, investigando a formação da função nos domínios filogenético, ontogenético e sociocultural (MORTIMER *et al.*, 2012). O domínio filogenético, no entanto, não é utilizado na construção de perfis conceituais e, por isso, acrescenta-se o domínio microgenético.

Portanto, para traçar um perfil conceitual, é necessário estudar como se deu a gênese de um conceito no domínio sociocultural, ou seja, como o conceito evoluiu com a história da humanidade e como a história cultural do meio em que o indivíduo está inserido influencia a sua aprendizagem (domínio sociocultural). Ao mesmo tempo, deve-se buscar, também, os estudos que nos dizem como esse conceito é aprendido e como evolui em cada indivíduo, operando, nesse caso, com o domínio ontogenético. Finalmente, devemos associar esses dois domínios a um terceiro que, por sua vez, evidencia como ocorre o uso desse conceito em diferentes situações, culminando, então, no domínio microgenético.

De acordo com Sepúlveda (2010), na metodologia de construção de perfis conceituais, a gênese do conceito no domínio sociocultural tem sido estudada a partir das ideias a ele relacionadas, seja em estudos encontrados na história das ciências, em revisões epistemológicas do conceito ou, ainda, no contexto da produção do conhecimento escolar, especificamente na forma como é abordado em livros didáticos. Para o perfil conceitual de molécula, vamos contemplar, neste trabalho, os livros didáticos que ainda não foram estudados por Mortimer e Amaral (2014).

Ademais, existe uma ampla literatura sobre as ideias prévias dos estudantes que nos traz, além de informações sobre como conceitos centrais dos diferentes campos das ciências naturais são aprendidos por estudantes de diferentes idades, também a forma com a qual essas ideias evoluem ao longo da história de sujeitos individuais. Dessa forma, deve ser igualmente usada como fonte de dados para o estudo da gênese do conceito no domínio ontogenético.

Os dados empíricos obtidos por meio de entrevistas, questionários e filmagens de interações discursivas em sala de aula têm permitido estudar a gênese de conceitos em curtos períodos de tempo, dando acesso, portanto, ao domínio microgenético. Sobre esse domínio, Wertsch (1985) afirma que Vigotski parecia diferenciar dois tipos de microgênese. No primeiro tipo, há uma referência à formação de curto prazo de um processo psicológico determinado, de modo que o estudo do domínio requer a observação de repetidas tentativas do indivíduo de resolver uma tarefa, o que nos leva a pensar que seja um estudo longitudinal de curto prazo. O segundo tipo consiste no descobrimento de atos individuais perceptivos ou conceituais com duração de milissegundos, que podem ser chamados de “*insights*”. Portanto, a aplicação de questionários e a realização de entrevistas podem permitir acessar esses dois tipos de microgênese.

Esses dados devem ser examinados de modo que se possa identificar os compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos que estabilizam formas de pensar e falar sobre os conceitos, possibilitando, assim, individualizar zonas de um perfil. Rodrigues e Mattos (2007) explicitam três dimensões do conhecimento humano: epistemológica, ontológica e axiológica. A dimensão epistemológica está relacionada à produção do conhecimento e às diversas interpretações da natureza que são encontradas em diferentes correntes filosóficas. A dimensão ontológica, por sua vez, refere-se à natureza dos objetos, sendo que um termo pode representar diversos conceitos e ter distintos significados dependendo do contexto de uso. Um exemplo dado pelos autores é o conceito de massa, que pode ser entendido como macarrão, massa de pedreiro etc. Temos, por fim, a dimensão axiológica, que está relacionada aos valores atribuídos aos objetos e revela as motivações e intenções com que um conceito é ou não utilizado pelo indivíduo. Em síntese, a primeira dimensão se refere a “como” conheço determinado

objeto, a segunda explica “o que é” o objeto e a terceira responde ao “porquê” das escolhas.

No presente trabalho, focaremos nos compromissos ontológicos e epistemológicos por estarmos trabalhando com o conceito de molécula que é utilizado mais estritamente na comunidade científica, de modo que a terceira dimensão não se torna tão relevante já que é utilizada, unicamente, no contexto acadêmico. Rodrigues e Mattos (2007) afirmam que essa abordagem binária pode ser útil quando temos um conceito que deriva de um conhecimento escolar mais hermético, como é o nosso caso. Cabe ressaltar que Mortimer *et al* (2014a) afirmam que as ciências abrigam formas heterogêneas de pensar e falar, favorecendo múltiplas maneiras de conceitualizar a experiência. Alguns estudos mais recentes, como o de Bezerra e Amaral (2019), fizeram uma análise que levou em consideração as três dimensões; trabalhou-se, assim, com o conceito de energia e com uma questão sociocientífica, ou seja, a dimensão axiológica foi muito relevante para o estudo.

O modo como os dados referentes a cada um dos três domínios genéticos é considerado é um segundo princípio metodológico a ser focado na construção de um modelo de perfil (MORTIMER *et al.*, 2012).

A análise do conjunto de dados deve ser realizada de maneira dialógica, de forma que os conteúdos encontrados em cada domínio são, a todo tempo, articulados com os demais. Essa perspectiva dialógica — acerca da relação entre os dados referentes aos diferentes domínios genéticos da formação do conceito — se encontra fundamentada na abordagem de Vigotski, tendo em vista a investigação do desenvolvimento das funções mentais superiores. Dessa forma, para investigar as zonas que constituem um perfil conceitual, é preciso ir além da categorização dos discursos escrito ou oral, buscando uma compreensão mais ampla da gênese do conceito em diferentes domínios genéticos (SEPULVEDA, 2010).

Como citado nessa seção, a grande maioria dos trabalhos baseados na teoria dos perfis conceituais buscava, além de identificar zonas de um determinado conceito, aplicar um perfil conceitual no processo de ensino-aprendizagem voltado ao ambiente escolar. Recentemente, novos direcionamentos foram tomados, a exemplo do trabalho de Araújo (2014), que realizou um estudo do perfil conceitual de calor em comunidades

de práticas — bombeiros militares e técnicos em refrigeração. Esse trabalho foi além do uso de conceitos na linguagem cotidiana e escolar, pois mostrou que comunidades situadas usam conceitos para resolver problemas profissionais. Assim, outros significados podem ser estabilizados e ser — ou não — comuns às comunidades. Araújo (2014) indica que seu trabalho abre um novo campo de investigação no programa de pesquisa sobre perfis conceituais, tornando-se necessário explorar como essas comunidades usam a dimensão axiológica desses conceitos.

Esse trabalho mostra, também, o valor pragmático de conceitos não científicos e evidencia que os usos não científicos para o conceito de calor não podem ser tomados como alternativos. De acordo com Mortimer *et al* (2014a), cada vez que o indivíduo usa esse modo cotidiano de falar sobre o conceito, o valor pragmático da linguagem cotidiana preserva significados que estão em desacordo com a visão científica. Assim, parece impossível que esses significados sejam substituídos por aqueles cientificamente aceitos. Os autores, no entanto, afirmam que vale a pena trabalhar também com contextos em que as ideias científicas mostram valor pragmático tanto em cenários cotidianos quanto naqueles em que a linguagem cotidiana é valiosa. Afinal, para desenvolver a compreensão conceitual na ciência, é necessário estabelecer relações entre significados científicos e cotidianos para as mesmas palavras. Não se pretende, com essa relação, submeter todas as outras formas de conhecimento à ciência, mas, sim, desenvolver diálogos entre diferentes formas de conhecimento a fim de distingui-las entre si e entre os contextos em que podem ser mais bem aplicadas.

Portanto, modos não científicos de pensamento e de significado não são tratados como “inferiores”, mas como culturalmente adequados para algumas esferas da vida nas quais agimos e falamos. Isso também implica que as visões científicas são, de fato, mais adequadas em várias esferas da vida e, por essa razão, devem ser apropriadas pelos estudantes se a educação científica servir para capacitá-los social e culturalmente (MORTIMER *et al.*, 2014a).

Nesse sentido, é necessário promover nos estudantes a tomada de consciência de que há uma diversidade de modos de pensar e falar sobre um conceito, embora eles não se mostrem igualmente poderosos para resolver problemas que encontramos. Torna-se, então, objetivo crucial do ensino e da aprendizagem a promoção de uma visão clara da

demarcação entre modos de pensar e falar — bem como entre seus contextos de aplicação — nos estudantes.

No caso do conceito de molécula, as ideias de senso comum não possuem um papel relevante em sua constituição. Nele, as zonas determinadas por uma vivência cotidiana não têm importância para o seu uso, pois não é um conceito comumente usado nesse meio. Apesar disso, o substancialismo<sup>1</sup> resiste como uma forma de falar no meio acadêmico, e nos parece evidente que nenhum químico usa o substancialismo como doutrina cotidiana que se contrapõe às outras zonas do conceito de molécula. O mesmo não ocorre, por exemplo, com o conceito calor, que tem uma parte de senso comum altamente relevante para a vida em sociedade e mesmo para algumas atividades realizadas por comunidades socioculturalmente situadas.

## 1.2 – O perfil conceitual de molécula

Mortimer e Amaral (2014) analisaram como o conceito de molécula evoluiu no domínio sociocultural, tentando identificar as suas raízes genéticas. Em suas pesquisas, os autores identificaram que a palavra molécula apareceu na língua inglesa em 1678 e que, em 1789, no “*Traité Élémentaire de Chimie*” de Lavoisier, esse termo foi usado para designar as menores unidades em que uma substância pode ser dividida sem uma alteração na sua natureza química. Na química clássica, a ideia de molécula evoluiu no século XIX para “o menor grupo de átomos semelhantes ou diferentes unidos por forças químicas” (The American Heritage Dictionary, edição de CD). De acordo com esse conceito clássico, as propriedades de qualquer material dependem da quantidade e tipo de átomos, da forma como eles são ordenados e da maneira como eles são arranjados no espaço — sua geometria.

Outra ideia levantada pelos autores é que, após os estudos de mecânica quântica aplicados à química, surge um novo conceito de molécula, que passa a ser vista como uma nuvem eletrônica polinuclear na qual não há distinção demarcada entre os átomos

---

<sup>1</sup> Substancialismo é a zona do perfil conceitual de molécula que descreve formas de pensar e falar em que a molécula (menor parte) contém as propriedades da substância (todo). É dizer que a molécula possui temperatura de ebulição.

que a constituem. Além disso, a natureza relacional de muitas propriedades nos leva a pensar nas interações entre as espécies químicas (moléculas), e não apenas na composição ou arranjo delas. As ideias dos primeiros princípios — que podem ser encontradas em Aristóteles, Paracelso e Libávius — não estão mais presentes na cultura da química, mas, ao observar esse traçado histórico, detectamos que elas continuam a ser utilizadas em outros contextos e, portanto, devem compor o perfil conceitual. Um exemplo no qual ainda se observam essas ideias é a homeopatia, mas esse ramo não foi incluído nas nossas pesquisas acerca do conceito.

Por outro lado, a ideia do substancialismo — que atribui propriedades macroscópicas aos átomos ou moléculas — ainda está presente nos discursos de sala de aula, nas respostas dos questionários e entrevistas e nos livros analisados, muitas vezes por um vício de linguagem que omite a distinção entre substância e molécula.

A partir dessas ideias, são propostas quatro zonas iniciais para o perfil conceitual de molécula. A primeira zona, chamada de “primeiros princípios”, tem como base os princípios de Aristóteles e da alquimia.

A segunda zona, denominada “substancialismo”, foi observada em diversas definições na própria química. A definição de molécula que se vê em *handbooks* é, por exemplo, substancialista, uma vez que indica que a molécula possui propriedades relacionadas às substâncias, como temperatura de fusão e de ebulição.

A terceira zona, chamada de “átomos geometricamente arranjados”, foi determinada tendo em vista o significado de que as propriedades de qualquer material dependerão da quantidade e tipo de átomos, da forma como eles são ordenados — sua tipologia — e o modo como eles são organizados no espaço — sua geometria.

Além disso, é proposto que a química moderna aponta possíveis novas zonas para esse perfil de molécula, visto que apresenta características que indicam que uma molécula não pode ser descrita com uma geometria única. Essas características podem ser listadas como: não rigidez estereoquímica, natureza dinâmica de um sistema molecular, descrição polinuclear de uma molécula e propriedades relacionais de substâncias químicas. Temos, nesse caso, a quarta zona, nomeada de “química moderna” (MORTIMER e AMARAL, 2014).

De acordo com Mortimer e Amaral (2014), a necessidade de pontos de vista complementares para explicar a estrutura molecular em diferentes contextos traz questões importantes para a compreensão e o ensino de química. Além disso, eles afirmam que a consciência do perfil conceitual pode ajudar um químico a compreender melhor as diversas maneiras empregadas pelos cientistas quando confrontados por diferentes problemas.

Ainda segundo os autores, essa consciência também é particularmente importante quando pensamos sobre o ensino de química, pois um estudante dificilmente vê essa multiplicidade de sentidos como uma característica natural da ciência. Pelo contrário, os alunos tendem a admitir que os conceitos científicos são únicos e bem definidos.

A aprendizagem de ciências é entendida, na abordagem dos perfis conceituais, em termos de dois processos interligados: a aquisição de novas zonas de um perfil conceitual e a tomada de consciência acerca da multiplicidade de formas de pensar e falar que um perfil encerra (EL-HANI; MORTIMER, 2007).

Mortimer e Amaral (2014) sugeriram que uma pesquisa importante a ser feita é a de expandir esse perfil conceitual considerando outros domínios genéticos além do sociocultural. É a partir dessa sugestão que estruturamos este trabalho, buscando a expansão do perfil de molécula.

Além disso, os autores enfatizam a importância do aprofundamento do estudo do conceito de molécula — principalmente em cursos universitários e direcionados para os domínios ontogenéticos e microgenéticos —, pois tais estudos podem levar a novos *insights* sobre esse perfil conceitual e à consolidação de um perfil de conceito central na química.

Nesse sentido, apresentaremos no presente trabalho um estudo do conceito de molécula baseado em dados coletados no ensino superior, especificamente nos cursos de Química nas modalidades licenciatura, bacharelado e tecnológica. No próximo capítulo discutiremos sobre o percurso metodológico que foi realizado.

## **CAPÍTULO 2**

---

### **Metodologia de pesquisa**



## 2.1 – A metodologia dos perfis conceituais

A metodologia deste trabalho foi baseada em outra já consolidada e proposta para o programa de pesquisa de perfis conceituais. Na metodologia sugerida por Mortimer *et al.* (2014), os autores afirmam que, para se determinar as zonas de um perfil, devemos estudar como se deu a gênese de um conceito no domínio da história sociocultural, ou seja, como evoluíram as compreensões sobre um determinado conceito ao longo da história da humanidade. Ao mesmo tempo, é necessário buscar, também, estudos que nos informem a respeito de como esse conceito é aprendido e como evolui ao longo da história de cada sujeito, lidando, neste caso, com o domínio ontogenético. Finalmente, devemos associar esses estudos em dois domínios com um terceiro usando entrevistas, questionários e episódios de ensino de sala de aula. Neste caso, estamos tratando dos domínios ontogenético e microgenético, podendo, ainda, encontrar elementos do domínio sociocultural. Dessa forma, considerando dados de todos estes domínios genéticos, conseguiremos estudar uma diversidade de significados atribuídos a um conceito numa multiplicidade de contextos de produção de significado.

De acordo com Mortimer *et al.* (2014b), o estudo de perfis conceituais pode seguir dois procedimentos metodológicos distintos: um em que se procura determinar as zonas que constituem um perfil e outro em que se busca investigar como ocorre a distribuição desse perfil e sua evolução a partir de zonas já definidas. O nosso trabalho se enquadra no primeiro procedimento, pois busca determinar as zonas do perfil conceitual de molécula.

Para esse procedimento, podemos realizar dois percursos diferentes que têm a mesma base: o diálogo entre os domínios genéticos e os dados teóricos e achados empíricos. No primeiro percurso, devemos iniciar a análise com dados primários obtidos de questionários, entrevistas e análises de interações discursivas, de modo parcialmente indutivo, extraindo, assim, categorias que tenham um contato relativamente menor com as literaturas histórica, epistemológica e sobre concepções alternativas. No segundo percurso, iniciamos as buscas a partir das fontes históricas, filosóficas e sobre concepções alternativas, de modo dedutivo, inferindo-se, desse modo, as zonas e, posteriormente, as categorias de resposta que as caracterizam e que serão buscadas no material empírico.

Devemos notar que não se pode determinar uma hierarquia entre os domínios genéticos. Em um dos percursos metodológicos, os domínios da história sociocultural e ontogenético, ao serem usados para construir os questionários e entrevistas, precedem temporalmente o microgenético. Na outra estratégia, são os domínios ontogenético e microgenético que precedem, temporalmente, o domínio sociocultural. Essas ordens se dão por razões puramente metodológicas, não refletindo nenhum pressuposto de hierarquização dos domínios; é a análise conjunta de todos eles que torna a metodologia rica, não uma suposta hierarquia (MORTIMER et al, 2014b).

Tendo em vista essa proposta metodológica do programa, realizamos o percurso apresentado iniciando com a análise histórica e sociocultural, passando, posteriormente, para a análise dos dados empíricos. Buscamos obter as informações para a construção e expansão das zonas e do perfil conceitual de molécula de formas distintas, conforme sugerido na metodologia. Há que se ressaltar que existe, neste trabalho, uma diferença em relação aos outros que elaboraram perfis conceituais, pois vamos partir de um estudo prévio feito por Mortimer e Amaral (2014) que já predeterminou algumas zonas a partir das fontes históricas e filosóficas.

## **2.2 – O percurso metodológico deste trabalho**

Buscamos um percurso metodológico que possibilitasse consolidar e expandir as zonas já existentes, com o objetivo de identificar e modelar distintos compromissos ontológicos e epistemológicos que pudessem delimitar as zonas do perfil de molécula.

Para obtenção dos dados, realizamos a pesquisa na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), local onde estava sendo realizado o doutorado da autora. O projeto para pesquisa foi aprovado pelo comitê de ética dessa universidade, e os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Cumpridas essas etapas, iniciou-se a coleta de dados.

Primeiramente, obtivemos dados dos livros didáticos que são indicados como referência bibliográfica em disciplinas do curso de Química dessa universidade. Os livros escolhidos foram definidos baseando-se nas subáreas da química definidas na literatura e que regem os cursos superiores desse campo: Tópicos de

Química, Iniciação à Química Experimental, Química Analítica, Físico-Química, Química Orgânica, Química Inorgânica e Bioquímica. Para tanto, analisamos livros indicados nas disciplinas de Química Geral, Bioquímica, Química Orgânica, Química Analítica, Físico-Química e Física Quântica – cuja obra, cabe ressaltar, foi analisada por ser a referência sugerida na disciplina Introdução à Estrutura da Matéria, correspondendo, então, ao livro relacionado aos estudos da química moderna. Nesse sentido, analisamos os seguintes títulos:

- Princípios de química – Atkins & Jhones (Química Geral e Inorgânica);
- Físico-Química – Atkins & Paula;
- Química analítica – Voguel;
- Princípios de Bioquímica de Lehninger – Nelson e Cox;
- Física quântica – Eisberg & Resnick;
- Química Orgânica – Solomons e Fryhle.

Após a definição desses materiais, encontramos versões em PDF dos livros e realizamos buscas no arquivo para encontrar as palavras “molécula” e/ou “moléculas”. Localizadas essas palavras, analisamos o trecho do texto em que elas apareciam.

Nessa etapa, pretendeu-se fazer uma análise das definições do conceito de molécula que aparecem nesses materiais e completar o domínio sociocultural. Ao examinar os livros, buscamos enquadrar os conceitos de molécula encontrados nas quatro zonas definidas por Mortimer e Amaral (2014).

Posteriormente, realizamos uma revisão bibliográfica da literatura acerca das concepções alternativas do conceito de molécula e dos conceitos relacionados — átomos, ligações químicas e interações intermoleculares. Nesse momento, buscamos entender as ideias no domínio ontogenético e confirmar os compromissos que delimitavam as quatro zonas preexistentes.

Na sequência, produzimos um questionário (ANEXO 1) contendo nove questões discursivas com problemas distintos, buscando favorecer o uso de diferentes zonas do perfil por estudantes de graduação em Química. As questões foram criadas pensando que, em cada uma delas, haveria respostas utilizando, predominantemente, uma ou duas das quatro zonas preexistentes.

Os questionários foram, então, aplicados em três disciplinas do curso de Química da UFMG — Química Geral (1º período), Química Inorgânica (2º período) e Introdução à Estrutura da Matéria (5º período) —, visando diferentes períodos do curso para que fosse possível fazer o estudo longitudinal. Os estudantes matriculados nessas disciplinas eram do curso de Química nas modalidades licenciatura, bacharelado e tecnológica. As aplicações ocorreram presencialmente, em horário preestabelecido para as aulas da disciplina, que foram gentilmente cedidas pelos professores responsáveis.

Nesse momento do trabalho, foi preciso fazer uma mudança no percurso. As análises das concepções e dos livros didáticos apontavam a necessidade de expansão das quatro zonas preestabelecidas e, após análise do questionário, isso ficou ainda mais evidente. As respostas dos estudantes traziam formas de falar que remetiam a compromissos não limitados às zonas com as quais estávamos trabalhando. Decidimos, então, redefinir as zonas do perfil conceitual de molécula e analisar os dados baseados, agora, nas seis zonas do novo perfil que vamos apresentar nesta tese. Dessa forma, os dados dos livros didáticos foram reanalisados, adequando-se a classificação das formas de falar para as seis zonas, de modo que serão apresentadas neste trabalho apenas as análises já baseadas no novo perfil. Os dados dos questionários também serão apresentados com o exame das seis zonas.

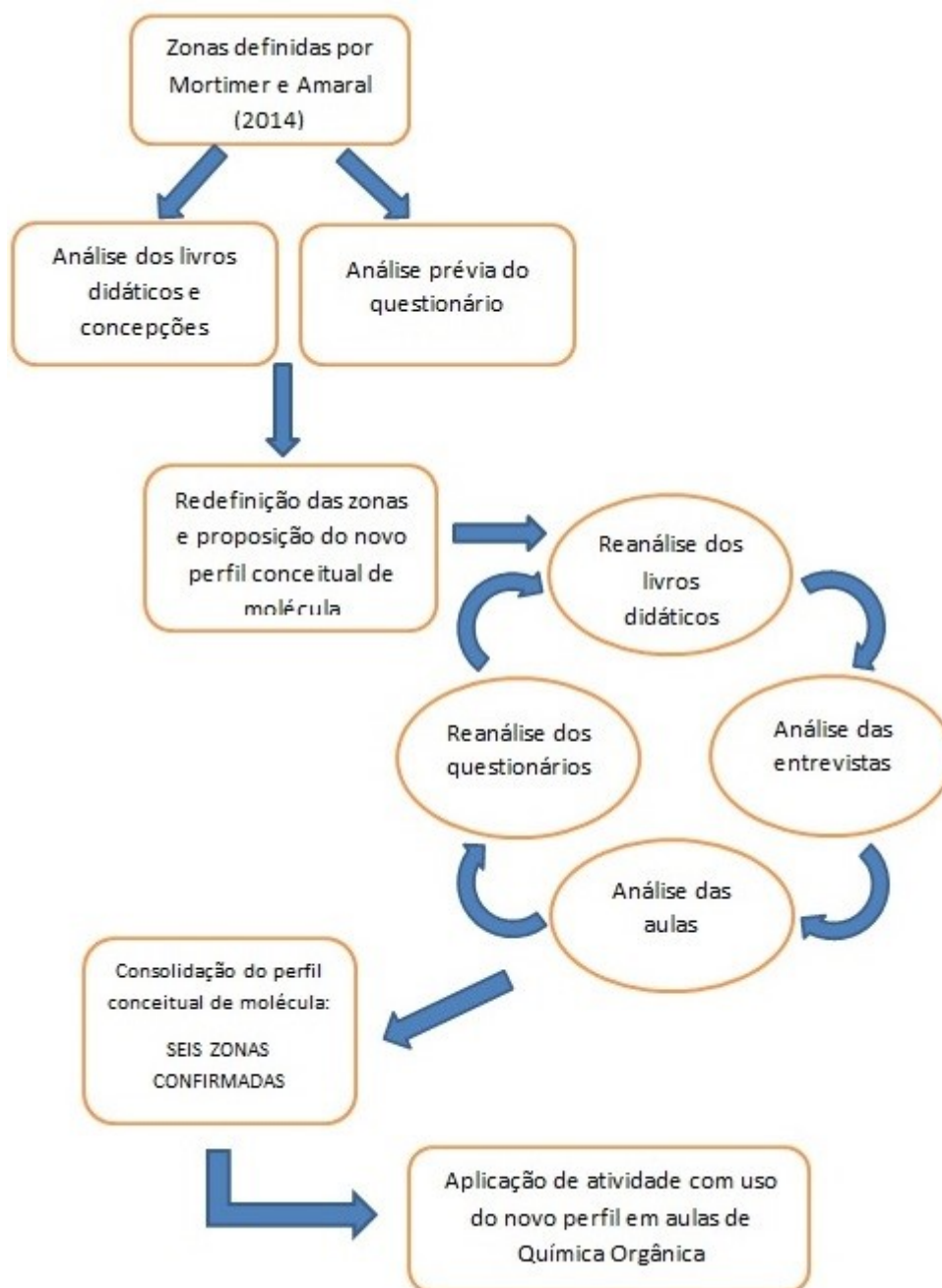
Seguindo no percurso metodológico, realizamos entrevistas semiestruturadas com 15 estudantes da graduação em Química, de distintos períodos — iniciais a finais —, que se voluntariaram a participar. Na entrevista, criamos situações de interação baseadas numa questão inicial: “o que tem nessa garrafa?”. Era apresentada uma garrafa de plástico incolor, com rótulo comercial de água mineral, para que os estudantes pudessem expressar o conceito de molécula buscando explicações para o que estava sendo exibido. Na análise das entrevistas, realizamos transcrições dos áudios e identificamos os trechos nos quais apareciam o conceito de molécula; assim, foi possível definir as formas de falar e os compromissos utilizados por esses estudantes. No capítulo de análise de dados, haverá uma descrição mais detalhada da entrevista. Em seguida, analisamos as aulas de duas disciplinas — Química Geral e Química Inorgânica — do curso de Química nas modalidades licenciatura, bacharelado e tecnológica. As aulas examinadas eram compostas por encontros que totalizaram 1h e 40min e abordavam temas como geometria molecular, ligações químicas e

estereoquímica dos compostos, tendo sido ministradas por quatro professores diferentes, ou seja, para cada disciplina em estudo trabalhamos com dois professores. As aulas foram assistidas na íntegra, buscando-se encontrar momentos em que os professores faziam definições ou relações com o conceito de molécula. Quando esses trechos foram identificados, fizemos suas transcrições para que pudessem ser analisados. Nesse caso, foi examinada apenas a fala dos professores, pois não tínhamos material que permitisse analisar as falas dos estudantes. Há aqui uma perda do processo de interação na construção do conceito.

Para finalizar nossos estudos, preparamos uma atividade baseada em cinco das seis zonas do novo perfil — utilizamos as que emergiram em todas as análises dos dados empíricos. Essa atividade foi planejada em conjunto com o professor que seria regente das aulas e foi aplicada em duas turmas com disciplinas de Química Orgânica — uma da graduação e outra da pós-graduação. Nosso objetivo era observar as formas de falar e os modos de pensar que seriam expressos em situações de interação com uma atividade planejada para discutir as novas zonas do perfil conceitual de molécula. Buscamos, então, ver como emergiriam as diferentes zonas na resolução de um mesmo problema inicial — a síntese de um composto orgânico.

Representamos a seguir (Figura 1), de maneira esquemática, o percurso metodológico apresentado.

Figura 1 – Fluxograma do percurso metodológico



Fonte: autoria própria

Portanto, após a coleta e análise de cada um dos dados, procuramos construir um diálogo entre eles a fim de consolidar o perfil conceitual de molécula tendo compromisso com os domínios sociocultural, ontogenético e microgenético.

De acordo com Sepulveda (2010), o diálogo entre os dados permite testar o quanto as categorias formuladas, sejam elas referentes à história e filosofia das ciências ou às concepções alternativas de estudantes, são de fato encontradas nos enunciados produzidos por pessoas de diferentes universos culturais, em situações reais de comunicação e interação social.

Nesse sentido, identificamos as novas zonas e propusemos o novo perfil conceitual de molécula constituído por seis zonas. Optamos por apresentar o capítulo com as zonas e seus compromissos antes do capítulo de estudo dos dados para que seja possível acompanhar as análises que foram feitas já utilizando as seis zonas, além de permitir um melhor entendimento dos dados que foram reanalisados.

## **CAPÍTULO 3**

---

### **O ensino de química e os conceitos abstratos**



### 3.1 – O ensino de química e o ensino superior no Brasil

De acordo com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, a educação superior deve formar pessoas reflexivas, aptas para se inserir em diferentes setores profissionais e para contribuir com o desenvolvimento da sociedade brasileira. Nesse contexto, é fundamental que os futuros profissionais da química adquiram uma formação sólida e estejam preparados para empregar seu conhecimento nas mais variadas situações. Os professores do ensino superior brasileiro, tanto de universidades públicas quanto de particulares, geralmente utilizam o modelo tradicional de ensino, que ocorre por meio do processo de transmissão-recepção de informações. Nele, o professor tem a função de transmitir os conhecimentos que deverão ser guardados pelos alunos, considerados “tábulas rasas” — isto é, mentes vazias que devem ser preenchidas gradualmente com essas informações. Em geral, o modelo tradicional de ensino ignora os conhecimentos prévios dos alunos, diferentemente do que propõem os construtivistas, que consideram a aprendizagem como uma conexão das novas informações com os conhecimentos prévios, daí sua elevada importância. Nessa visão, o ensino deveria partir das concepções dos alunos e da sua realidade. Além disso, o que se observa na abordagem tradicional é que os conteúdos são apresentados em um contexto não significativo, ou seja, muito distantes de qualquer aplicação prática, dificultando o relacionamento entre o conhecimento adquirido e sua respectiva utilização externa ao ambiente escolar. Tais aspectos deveriam ser levados em conta durante a formação inicial dos estudantes em nível de ensino superior, visando a uma contribuição para a aprendizagem de conceitos e, principalmente, para a formação de cidadãos (QUADROS, 2010).

De acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química, espera-se que o químico, bacharel ou licenciado, desenvolva as seguintes habilidades em relação à compreensão da química: assimilar os principais conceitos, leis e princípios da química; conhecer as propriedades físicas e químicas principais dos elementos e compostos, de modo que seja possível entender e prever seus comportamentos físico-químicos, aspectos de reatividade, mecanismos e estabilidade; reconhecer a química como uma construção humana, compreendendo os aspectos históricos de sua produção e suas relações com os contextos cultural, socioeconômico e político (ZUCCO *et al.*, 1999).

Dessa forma, o profissional deve ter um entendimento sólido acerca dos conceitos químicos para entender, explicar e prever o comportamento desses sistemas. Além disso, é muito importante para sua formação compreender a natureza da ciência e suas inter-relações com a sociedade e tecnologia. ((DE ANDRADE *et al.*, 2003).

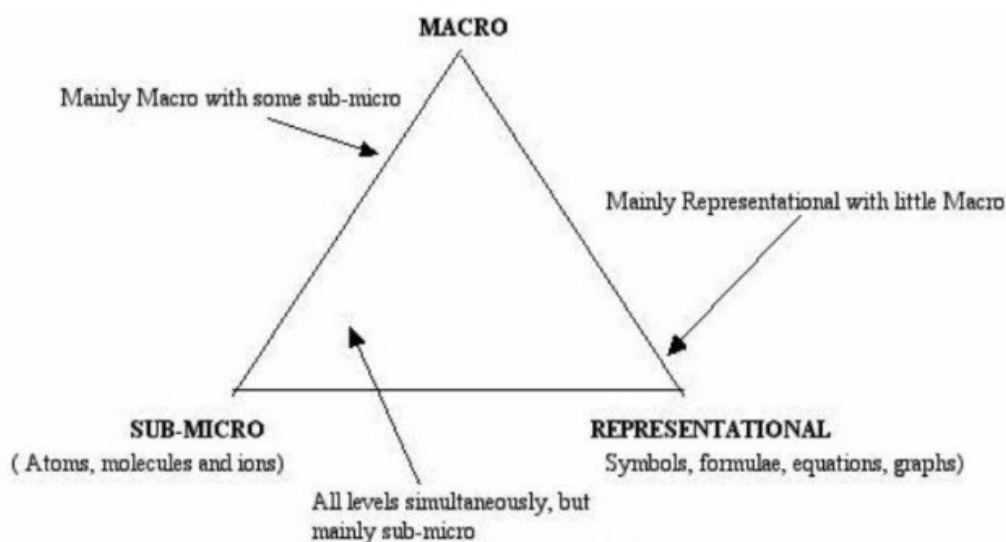
Centrando-se na questão do conhecimento químico que o profissional deve possuir, independentemente da habilitação em que seu curso se enquadra, a literatura apresenta as seguintes subáreas: Tópicos de Química, Iniciação à Química Experimental, Química Analítica, Físico-Química, Química Orgânica, Química Inorgânica e Bioquímica (DE ANDRADE *et al.*, 2003).

Espera-se que um químico apresente um domínio vasto de conteúdos, tanto de natureza conceitual quanto procedimental. Dessa forma, torna-se importante entender como ocorre a compreensão dos conceitos químicos pelos estudantes.

Sabe-se que a química é uma ciência caracterizada por esclarecer fenômenos derivados das transformações da matéria baseando suas explicações na existência de partículas, sendo que as alterações no arranjo ou interações entre essas partículas causam mudanças que podem ser observadas macroscopicamente. Acontece que essa relação entre os fenômenos observáveis macroscópicos e o “mundo” corpuscular só pode ser elucidada por meio de modelos que procuram representar, da melhor forma possível, tais entidades não observáveis (POZO; CRESPO, 2009).

Para a delimitação dos possíveis níveis de pensamento e de representação do conhecimento químico, um marco importante foi o artigo “Macro and micro-chemistry”, escrito por Alex Johnstone (1982). Esse sistema pressupõe o discernimento de três diferentes dimensões do conhecimento químico: macro, submicro e representacional. O mesmo autor retoma, em 2006, o modelo de aprendizagem em múltiplos níveis nos processos educacionais para a química (Figura 2).

Figura 2 – Dimensões do conhecimento químico



Fonte: Johnstone (2006)

Johnstone (1982, 20006) considera, então, que a química se constrói sob três aspectos que agregam todas as formas de sua representação e interpretação: macroscópico, molecular e simbólico. Esses níveis são definidos por Johnstone (2009) conforme se observa a seguir.

O nível macroscópico/tangível corresponde à parte “observável” por meio dos sentidos mensuráveis, que pode ser descrita por intermédio de suas propriedades como cor, odor, densidade, efervescência etc.

O submicroscópico/molecular/invisível, por sua vez, refere-se a como os fenômenos e propriedades observados no primeiro nível são explicados pela Ciência, utilizando conceitos abstratos tais como átomos, íons, moléculas, ligações químicas e interações intermoleculares, de modo a fornecer um modelo para racionalizar e entender esses fenômenos.

Por fim, o nível representacional/simbólico/matemático diz respeito à forma utilizada pelos químicos para representar as substâncias e transformações, que se dá por meio de símbolos e equações convencionados pela comunidade científica.

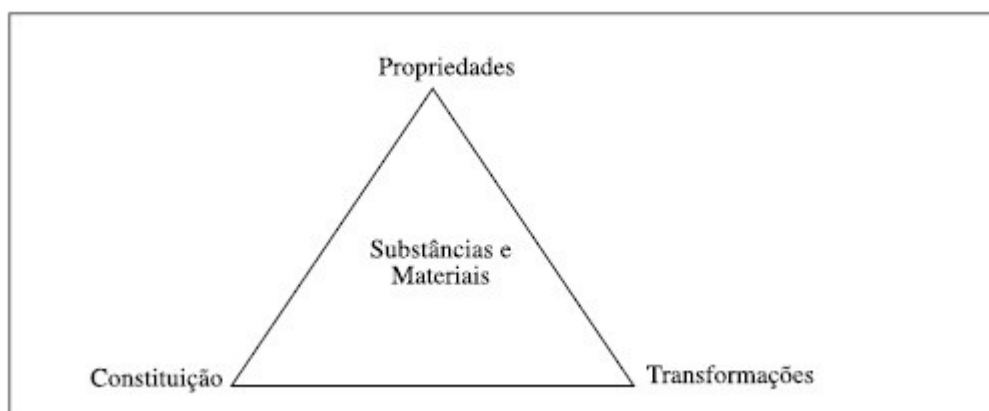
De acordo com a Figura 2, o ensino conforme uma vertente puramente macro estaria localizado apenas no vértice superior. Contudo, ao realizar um experimento e interpretá-lo através de uma equação química, a abordagem se deslocaria para algum local entre o macro e o representacional. Em muitos conteúdos, existe uma mistura simultânea das três abordagens, representada por um ponto no interior do triângulo cuja localização é determinada pela proporção relativa dos três níveis (JOHNSTONE, 2006).

A alternância para a compreensão da química nas vertentes puramente macro, submicro ou representacional (vértices do triângulo) e a mescla de tais vertentes (área interna do triângulo) seria feita, com suposta facilidade, por professores de química. A questão que se coloca é se os estudantes do ensino médio e do ensino superior podem acompanhar seus professores nas situações de ensino planejadas para entrarmos no triângulo sem, contudo, se perderem em erros conceituais ou em explicações teóricas desconexas do fenômeno (AGUILAR; MARCONDES, 2016).

No contexto brasileiro, os níveis de representação de Johnstone assumiram novas perspectivas e nomenclatura. Assim, ao referir-se ao nível macro, é possível encontrá-lo nomeado como macroscópico, empírico ou fenomenológico; o submicro também é chamado de submicroscópico, microscópico, teórico ou nível de modelos; o representacional, por sua vez, pode ser identificado como nível de linguagem ou simbólico (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 2000).

Mortimer *et al* (2000) indicam que, para a compreensão dos conteúdos de química, é necessário que os estudantes transitem entre os diferentes níveis de representação da matéria. Estabelecer inter-relações entre esses três aspectos é fundamental para que se possa compreender vários tópicos de conteúdo químico. De maneira esquemática, os autores apresentam essas relações na Figura 3.

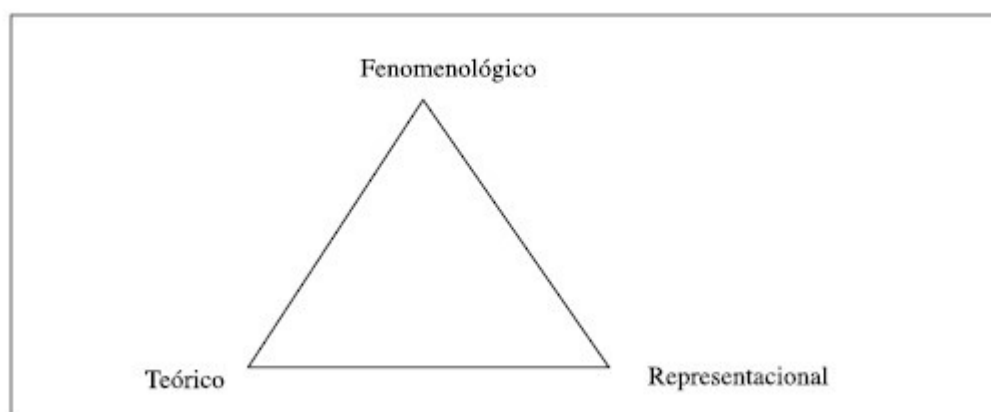
Figura 3 – Aspectos das substâncias e materiais



Fonte: Minas Gerais. SEEMG, 1998

Além disso, apresentam um esquema que representa as inter-relações entre os aspectos do conhecimento químico (Figura 4).

Figura 4 – Aspectos do conhecimento químico



Fonte: Minas Gerais. SEEMG, 1998

Alguns conceitos prévios de estudantes retomam as ideias que foram ditas durante determinados períodos da história das ciências (CARROSCA, 2005). O autor enfatiza que, para pensar no ensino de conceitos, é importante ter conhecimento das causas, da origem e da permanência das ideias alternativas.

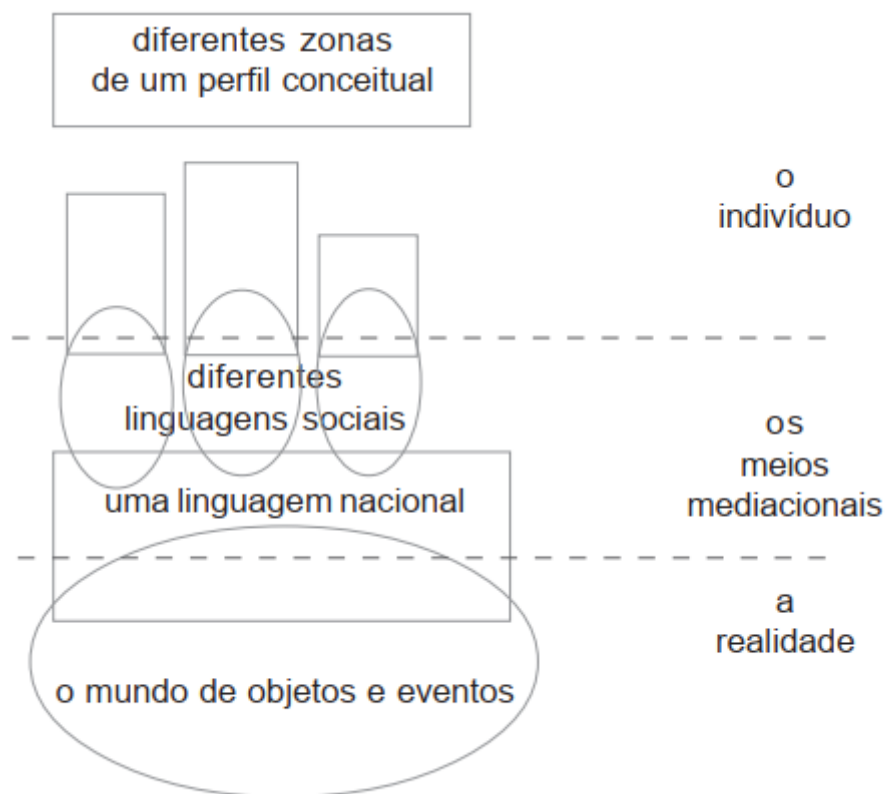
No caso da molécula, temos um conceito que não é muito usado no dia a dia das pessoas. As ideias alternativas, entretanto, podem ser difundidas de várias maneiras: pelos meios de comunicação (rádio, televisão, cinema, redes sociais); nos erros conceituais que são apresentados em alguns livros didáticos; na linguagem adotada pelos professores em sala de aula; na utilização de estratégias e metodologias de ensino não tão adequadas. Esses tópicos também foram levantados por Carroasca (2005), que colocou em evidência outros aspectos relacionados ao ensino dos conceitos que favorecem, igualmente, o surgimento das ideias equivocadas em sala de aula ou mantêm o uso delas em contextos inadequados.

Para Mortimer (1996), muitos problemas na aprendizagem dos conceitos científicos relacionam-se à dificuldade do aluno em mudar as categorias ontológicas relacionadas a eles. Nesse sentido, ele ressalta como aspecto importante do perfil conceitual o fato de que ele pode mostrar as características epistemológicas e ontológicas dos conceitos científicos, e não apenas as epistemológicas (MORTIMER, 1996).

Lôbo (2008) indica que cada zona requer um processo de mediação didática e linguagem específica. Apesar das diferentes formas de falar que cada uma delas utiliza, a mediação do professor pode promover a interação das várias linguagens sociais a partir das quais cada sujeito, imerso numa cultura, interpreta os fenômenos sob estudo. A dispersão conceitual proporcionada pelo perfil tem a vantagem de demonstrar que a forma como se aborda o mundo está relacionada ao contexto no qual se está imerso. Além disso, o processo de conceituação não se dá por formação de uma só ideia, e, sim, com diferentes visões de mundo que possam ser complementares.

Para evidenciar as características de um perfil conceitual qualquer, Mortimer (1997) apresentou o esquema da Figura 5 utilizando as linguagens sociais, as zonas do perfil e o mundo concreto. De alguma maneira, esse esquema retoma as ideias expostas nos triângulos apresentados anteriormente, expondo relações entre teoria, fenômeno e representação.

Figura 5 – Características de um perfil conceitual



Fonte: Mortimer, (1997), p.202.

Para explicar a ideia apresentada no esquema, trazemos a citação de Mortimer (1997):

Cada zona num perfil conceitual oferece uma forma de ver o mundo que é única e diferente das outras zonas. É como se olhássemos o mundo através de lentes que apresentam toda a realidade de uma maneira específica. Cada zona conceitual corresponde a meios mediacionais diferentes, a teorias e linguagens diferentes, cada qual revelando o mundo a sua maneira. A realidade não pode ser entendida inteiramente apenas sob uma perspectiva. Apenas um ponto de vista complementar pode oferecer uma descrição mais completa da realidade (MORTIMER, 1997, p. 202).

O processo de construção de conhecimento em sala de aula pode ser interpretado como uma tentativa de construção de um significado único e o mais intersubjetivo possível; em geral, o significado cientificamente aceito. Assim, é necessário que o estudante consiga relacionar as ideias que construiu em conjunto com a sala às que já possuía (MORTIMER, 2011). Nesse sentido, o professor deve agir como facilitador do

processo para que seja possível a construção dessas ideias, criando um ambiente em que os estudantes possam expor suas diferentes visões e, conjuntamente, construir novas ideias.

Diversos estudos já foram feitos a partir de ideias prévias dos estudantes. Apresentaremos, na próxima sessão, alguns estudos relacionados a essas ideias para os conceitos de molécula, átomos, ligações químicas e interações intermoleculares, devido ao foco de estudo do nosso trabalho.

Apresentando mais uma visão sobre a química, podemos citar trabalhos recentes como de Talanquer (2013) e Freire (2017) que discutem sobre o pluralismo da química e indicam que seu conhecimento é rico, complexo e multifacetado. Talanquer (2013) apresenta dez facetas do conhecimento químico para sua educação: grandes ideias, conceitos transversais, dimensões conceituais, tipos de conhecimento, escalas dimensionais, modos de raciocínio, questões contextuais, visões históricas e considerações filosóficas. Segundo o autor, essas facetas se referem a diferentes aspectos do conhecimento químico que desejamos que os estudantes aprendam.

Freire (2017), após propor um perfil conceitual para o conceito de química, sugeriu um esquema que relaciona as zonas que foram identificadas em seu trabalho com algumas das facetas do conhecimento químico. Segundo o autor, tais zonas podem fornecer contextos úteis para os quais essas ideias poderiam ser exploradas e discutidas no ensino de química. Na Figura 6 apresentamos esse esquema.



Figura 6 – Relações potenciais entre as zonas do perfil conceitual de química e facetas da química



Fonte: Freire (2017), p.192.

O autor enfatiza que não há uma relação linear entre uma zona e uma faceta e que seu objetivo foi evidenciar relações entre alguns aspectos e essas facetas. Com isso, ele acredita fornecer algumas diretrizes e sugestões para professores, desenvolvedores de currículo e materiais didáticos para tomarem decisões sobre as práticas em educação química, escolha de estratégias e abordagens educacionais (FREIRE, 2017).

Frente ao exposto nesta seção, podemos afirmar que o ensinar e o aprender química envolve muito mais que o ensino tradicional de conceitos. É necessário compreender desde as bases filosóficas e epistemológicas desses conceitos até as relações que podem ser estabelecidas entre o macro e o micro, o observável e a teoria.

Portanto, faz-se necessária a inclusão desses aspectos nos cursos de formação de profissionais em química que, por vezes, ainda se mostram muito tradicionais. Nesse sentido, realizaremos um estudo acerca do perfil conceitual de molécula buscando incluir essas discussões, além das delimitações epistemológicas do conceito.

De acordo com Freire *et al* (2019), os educadores de química de todos os níveis precisam pensar em suas disciplinas sob múltiplas perspectivas, incluindo não apenas os pontos de vista acadêmico e cognitivo, mas, também, histórico, filosófico, social, político, econômico, moral, ético, ambiental e considerações ecológicas. Reconhecer e refletir criticamente acerca das diferentes maneiras de falar sobre química cria oportunidades para os professores replanejarem, além da disciplina, os modos como envolvem os estudantes na aprendizagem de química.

### **3.2 Concepções alternativas para conceito de molécula e conceitos correlatos**

A partir da década de 70, começou a aparecer na literatura um grande número de estudos preocupados, especificamente, com os conteúdos das ideias dos estudantes em relação aos diversos conceitos científicos aprendidos na escola (MORTIMER 1996).

Esses estudos revelaram que as ideias alternativas de crianças e adolescentes são pessoais, fortemente influenciadas pelo contexto do problema e bastante estáveis, de modo que é possível encontrá-las mesmo entre estudantes universitários (MORTIMER 1996 *apud* Viennot, 1979). Realizadas em diferentes partes do mundo, as pesquisas mostraram o mesmo padrão de ideias em relação a cada conceito investigado.

Há uma grande variedade de nomes que diferentes autores usam para denominar essas ideias das crianças; tais nomes podem indicar a filiação epistemológica da pesquisa (MORTIMER, 2000). Gilbert e Watts (1983) relacionam a ideia de *misconceptions* a uma visão clássica do conhecimento no qual ele seria constituído por níveis hierárquicos que poderiam ser divididos em pequenas partes e estudados isoladamente. Os conceitos seriam partes lógicas dentro dessa divisão hierárquica do conhecimento.

Em contraste a essa visão clássica, existe uma visão ativa do conceito que trata as concepções como modos de fazer e/ou de organizar as experiências pessoais. Nessa visão, toda aprendizagem cognitiva deve envolver um certo grau de reconstrução do conhecimento preexistente e, portanto, atribui um grande status às concepções individuais, que podem ser entendidas como “estrutura conceitual alternativa” (GILBERT & WATTS, 1983).

Há, ainda, uma visão intermediária que os autores denominam de visão relacional, pois enfatiza a importância das relações de um conceito dentro de uma rede e a posse de uma classe de aspectos que permitam distingui-lo.

Apesar dessa variedade de visões, que aparecem na literatura sob o mesmo rótulo, há pelo menos duas características principais que parecem ser compartilhadas: a aprendizagem se dá através do ativo envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento e as ideias prévias dos estudantes desempenham um papel importante no processo de aprendizagem (MORTIMER, 2000).

O grande número de estudos em concepções alternativas gerou um aumento do conhecimento empírico sobre as percepções dos estudantes. Apesar de produzir um número razoável de resultados e publicações na literatura, o programa de pesquisa em concepções alternativas foi criticado por realizar pesquisas muito descritivas.

Nesse sentido, Mortimer (1996) afirma que a noção de perfil conceitual permite entender a evolução das ideias dos estudantes desenvolvidas em sala de aula não como uma mudança de alternativas para científicas, mas como a evolução de um perfil de concepções em que as novas ideias, adquiridas no processo de ensino-aprendizagem, passam a conviver com as anteriores, sendo que cada uma delas pode ser empregada no contexto conveniente. Por meio dessa noção, é possível situar as ideias dos estudantes num contexto mais amplo que admite sua convivência com os saberes escolar e científico.

Para entender a gênese do conceito de molécula no domínio ontogenético, realizamos estudos com suas concepções e analisamos, também, percepções dos estudantes relacionadas ao átomo, ligações químicas e interações intermoleculares. Esses são assuntos diretamente relacionados ao conceito de molécula e que ajudam a esclarecer os entendimentos sobre o conceito foco deste trabalho, além de constituírem

tópicos fundamentais da química, visto que ilustram a natureza íntima da matéria e suas transformações. Atualmente, na ciência, já se é bem estabelecido que o mundo material é constituído por átomos e moléculas, além de que suas propriedades dependem do arranjo e das interações entre essas partículas e, também, entre as partículas subatômicas (ROCHA, 2001).

Há diversos autores que indicam que, para compreender fatos e acontecimentos do dia a dia sob a ótica da Ciência, é necessário entender os conceitos relacionados aos átomos e suas formas de interação, da mesma forma que um grande número de fenômenos biológicos, físicos e químicos só podem ser explicados pelo entendimento das mudanças no rearranjo e movimento de átomos e moléculas. Alguns autores afirmam que, na química moderna, são feitas sempre relações entre as propriedades químicas de uma substância com a estrutura geométrica e eletrônica de suas moléculas (MIRANDA *et al*, 2017; DUARTE, 2001)

Ao realizar estudos sobre a concepção atomística dos alunos, Mortimer (1995) identificou que eles chegam à sala de aula com ideias sobre a natureza atômica da matéria bem distintas daquelas aceitas cientificamente. Baseado em diversas pesquisas realizadas em todo o mundo, o autor identificou as principais características das ideias dos estudantes sobre a matéria:

- nem todos os estudantes usam modelos descontínuos para representar as transformações da matéria;
- alguns estudantes usam ideias animistas e/ou substancialistas, em que o comportamento de seres vivos e/ou as propriedades da substância são atribuídos a átomos e molécula;
- grande parte dos estudantes tem tendência em negar a existência de espaços vazios entre as partículas;
- raramente são usados outros aspectos de um modelo atomista nas explicações, por exemplo, o movimento intrínseco das partículas ou suas interações;
- alguns estudantes apresentam dificuldades em raciocínios que envolvam a conservação da massa;
- alguns estudantes têm dificuldade em transitar entre as observações fenomenológicas e as explicações atomistas, ou seja, em fazer relações entre os

modelos atomistas e o comportamento dos materiais nas diversas transformações.

Essas dificuldades podem estar associadas ao fato de que a ideia de átomo se distancia do mundo real do aluno e, por isso, é necessário criar modelos que “são ferramentas fundamentais de que dispomos para compreendermos o mundo cujo acesso real é muito difícil” (CHASSOT, 1993, p. 100).

Se, para o aluno, pensar microscopicamente não é uma tarefa tão simples, extrapolar essa visão do entendimento de átomo para explicar a formação do íon também tem se mostrado problemático (FRANÇA *et al* 2009).

França *et al* (2009), após revisar alguns estudos, verificaram acerca dos temas “átomos e íons” que os estudantes:

- apresentam dificuldades na compreensão da estrutura da matéria e muitos a explicam sob o ponto de vista macroscópico, utilizando ideias de grãos, lâminas e pedras para justificar sua composição;
- demonstram uma limitação objetiva ao iniciarem o estudo da química em reconhecer, a nível microscópico, o caráter descontínuo da matéria e suas entidades constituintes;
- consideram que o átomo é tido como a menor parte constituinte da matéria mas, às vezes, julgam que poderia ser a célula;
- identificam que o modelo atômico predominante é o de orbital, no qual as órbitas seriam entidades independentes em que os elétrons estariam girando ao seu redor, ao passo que o núcleo estaria em repouso;
- fazem mais referência aos elétrons, dentre as partículas subatômicas, e muitos acham que esses não podem ser separados do átomo;
- têm uma consistente ideia de indivisibilidade;
- não fazem a diferenciação entre átomo, íon e molécula pois não é ressaltada a importância desse tipo de discussão após o estabelecimento de um modelo atômico, iônico e molecular;
- apresentam ideias de similaridade entre o conceito de átomo e íon;
- incorrem na falta ou ausência de relações entre a estrutura atômica e a ligação química com a ideia do íon;

- veem a neutralidade do átomo relacionada ao fato de que ele é carregado positiva e negativamente;
- veem a neutralidade elétrica de um átomo como ligada à ideia da regra do octeto.

Além disso, as autoras concluíram que a maioria dos alunos tem grandes dificuldades em representar a estrutura do átomo. Seus desenhos, muitas vezes, mostram uma confusão de conceitos tanto do ponto de vista estrutural do átomo quanto da formação do íon.

A definição de íon é importante na construção e no entendimento de muitos conceitos químicos, a exemplo de ligações químicas e solubilidade. Compreender os átomos e íons nos parece fundamental para o aprendizado de ligação química. Vamos observar que as dificuldades de entendimentos e as concepções alternativas sobre ligações estão intrinsecamente ligadas ao que já foi apresentado para os átomos aqui.

Os três tipos mais comuns de ligações químicas — iônica, covalente e metálica — fazem parte do currículo químico nos diferentes níveis de ensino. Assim como já citado para o átomo, a abstração associada às ligações químicas também leva à utilização de distintos modelos e teorias para a compreensão conceitual dos diferentes tipos existentes, tornando esse assunto bastante complexo e potencializando a geração de concepções alternativas por parte dos estudantes (FERNANDEZ & MARCONDES, 2006).

O estudo de Fernandez e Marcondes (2006) agrupou as principais concepções dos estudantes sobre ligações químicas nas seguintes categorias:

- confusão entre ligação iônica e covalente;
- antropomorfismos;
- regra do octeto;
- geometria das moléculas e polaridade;
- energia nas ligações químicas;
- representação das ligações.

O antropomorfismo é uma categoria citada que está muito presente no ensino de química e ocasiona concepções alternativas. Os professores dessa área frequentemente dão características humanas aos átomos e às moléculas, por exemplo: “o átomo quer

fazer ligação” ou “o átomo fica feliz com oito elétrons”. Explicações que usam essas palavras ou expressões acabam favorecendo um entendimento equivocado, por parte dos estudantes, daquele conceito que está sendo ensinado. Essa categoria animista ou antropomórfica também foi identificada nos estudos de concepções atomísticas realizados por Mortimer (1995).

Fernandez e Marcondes (2006) afirmam que diversas pesquisas que estudaram as concepções alternativas, tanto em estudantes de ensino médio quanto de superior, revelaram que eles:

- associam ligações fortes apenas a compostos iônicos;
- não conseguem estabelecer relações coerentes entre polaridade da ligação, moléculas polares e apolares e geometria molecular;
- não relacionam satisfatoriamente os três níveis de conhecimento químico — representacional, macroscópico e microscópico;
- associam a formação de ligações fundamentalmente à obtenção de uma camada completa (regra do octeto).

A natureza do vínculo covalente não é bem compreendida pela maioria dos estudantes, mesmo depois de ser abordada por anos no currículo. Talvez isso possa ser explicado pela maneira como é ensinada em textos, livros e, presumivelmente, pelas explicações dos professores em sala de aula. A introdução de estruturas de Lewis apresenta uma importância didática inquestionável; no entanto, as ligações covalentes geralmente são apresentadas usando-se a ideia do compartilhamento de elétrons como um fator justificador para a atração de átomos. Quando a força eletrostática é apresentada como uma explicação da união de íons na ligação iônica, e o compartilhamento de elétrons como uma explicação simplória da ligação covalente, provavelmente fazemos com que os alunos pensem que esta é uma força nova (DE POZADA, 1993). Ademais, essas ideias sobre a ligação covalente parecem ser reforçadas por alguns livros.

Adicionalmente às explicações de textos e professores, devemos levar em consideração a tendência habitual de alguns alunos para evitar aprendizado significativo e

preferir regras mais ou menos simples de aplicação direta, sem o conhecimento adequado, de modo que optam, então, por estabelecer uma abordagem classificatória.

Nesses estudos apresentados para ligações químicas, observamos semelhanças em alguns itens que serão apresentados para interações intermoleculares. Autores afirmam que muitos estudantes se mostram confusos em relação à diferença entre forças intermoleculares e intramoleculares e, frequentemente, confundem interações intermoleculares com as ligações químicas, também conhecidas como interações intramoleculares (TABER, 1995; FERNANDEZ; MARCONDES, 2006). Contudo, há entre elas significativa diferença, conforme explicita Rocha (2001, p.36): “enquanto as forças intramoleculares mantêm os átomos em uma molécula e constituem a base para a racionalização das propriedades químicas, as forças intermoleculares são responsáveis por todas as propriedades físicas da matéria”. Além disso, dizem que estudantes têm a ideia de que ligações químicas são rompidas quando uma substância muda de estado (FERNANDEZ; MARCONDES, 2006).

Em conclusão, os autores supracitados afirmam que as forças intermoleculares foram menos internalizadas pelos estudantes que as ligações covalentes e, portanto, menos utilizadas em suas explicações. Dessa maneira, contribuem para tornar explícita — embora não compreendida — a união entre os átomos para formar a molécula, mas não para tornar suficientemente clara a relação entre as diferentes moléculas.

Em relação à geometria molecular, os estudantes acreditam ser ela devida somente à repulsão de pares de elétrons ligantes, ou seja, não levam em consideração os pares de elétrons não ligantes. Ademais, acreditam que a polaridade da ligação determina a geometria.

Após um estudo de revisão bibliográfica baseado em artigos nacionais e internacionais em diferentes periódicos, Miranda *et al* (2017) determinaram que as concepções alternativas mais recorrentes sobre as interações intermoleculares são:

- não há diferenças significativas entre as forças intermoleculares e as ligações químicas;
- as forças intermoleculares são mais fortes que as ligações intramoleculares;



- existe ligação de hidrogênio em todas as moléculas que o possuem, e a força dessa interação é medida pela quantidade de hidrogênios que a molécula tem — por exemplo, as interações entre as moléculas do  $\text{CH}_4$  são mais intensas que as do  $\text{NH}_3$ ;
- quando um sólido funde, ocorrem rupturas das ligações químicas;
- no processo de ebulição, as moléculas de água são quebradas e as bolhas observadas são efeitos dos átomos de oxigênio e hidrogênio;
- a agitação e aquecimento são requisitos essenciais para o processo de dissolução.

Após revisão realizada com diversos trabalhos envolvendo estudantes de ensino médio e superior, Junqueira (2018) identificou que a concepção mais pesquisada — e, por consequência, mais relatada — foi uma confusão associada à natureza da interação intermolecular que, muitas vezes, é compreendida como uma ligação química. Notou-se, também, que a ligação de hidrogênio ganha um destaque se comparada aos outros tipos de interações intermoleculares.

Os diversos estudos apresentados nesta seção indicam que há uma forte relação entre as concepções apresentadas por estudantes de ensino médio e por estudantes de ensino superior.

Pesquisas realizadas em diferentes países mostram que essas ideias alternativas dos estudantes são encontradas em todos os locais, embora sejam idiossincráticas já que cada indivíduo pode apresentar diferentes tipos de ideias. Sua existência, no entanto, é universal quando são originadas de maneira espontânea, pois o mesmo padrão de concepções sobre a matéria foi detectado em diversas partes do mundo. Por outro lado, há algumas concepções que podem ser resultado do processo de ensino-aprendizagem e, então, poderíamos ter diferenças, tendo em vista processos diferentes.

De forma a sintetizar o que foi apresentado nessa seção acerca dos conceitos correlatos com molécula, podemos indicar as seguintes dificuldades:

- diferenciar átomo, íon e molécula;
- compreender a ligação covalente como uma força eletrostática;
- diferenciar ligações químicas e interações intermoleculares;

- relacionar, nas substâncias moleculares, as mudanças de estado físico e solubilidade com o rompimento de interações intermoleculares;
- compreender a ligação de hidrogênio como uma interação intermolecular, interpretando que ela ocorre entre átomos de uma mesma molécula e não entre moléculas distintas, e que a quantidade de ligações de hidrogênio está relacionada ao número de hidrogênios presentes nas moléculas, não aos grupos ou sítios que possibilitam que essa interação ocorra.

A fragmentação do conteúdo ao longo do ensino, quando não há uma ligação entre o que é abordado nas várias disciplinas, possivelmente dificulta o entendimento dos conceitos e, mais ainda, contribui para que o aluno não tome consciência das relações existentes no conhecimento químico. Essa disposição, convencionalmente existente nas práticas de ensino e em grande parte dos livros didáticos, pode dificultar o estabelecimento de relações entre os conceitos envolvidos (JUNQUEIRA, 2018).

Em algumas das concepções apresentadas nos trabalhos descritos há um reforço das ideias substancialistas, como nos estudos das concepções sobre átomos em que Mortimer (1995) explicita o uso dessas ideias pelos estudantes. Assim, as propriedades da substância são atribuídas a átomos e molécula, e existe, por parte dos estudantes, dificuldade em transitar entre as observações fenomenológicas e as explicações atomistas, ou seja, em fazer relações entre os modelos atomistas e o comportamento dos materiais nas diversas transformações.

Por outro lado, essa análise nos permitiu, também, identificar alguns compromissos que não estavam enquadrados nas zonas do perfil conceitual de molécula preexistente, a exemplo da importância das interações. Na zona estabelecida por eles como química moderna, havia uma menção ao comportamento relacional, mas não um detalhamento de como isso seria expresso nas diversas formas de falar e pensar sobre as moléculas. Ao estudar as concepções alternativas acerca do conceito de molécula, observamos que diversas delas estão atreladas ao entendimento das interações intra e intermoleculares, afetando a composição dos modos de pensar sobre o conceito em estudo.

Rocha (2011) afirma que o entendimento das forças intermoleculares é de extrema relevância se quisermos entender o comportamento de sistemas químicos a

nível molecular. Diz, também, que o entendimento microscópico das interações intermoleculares pode auxiliar na compreensão das propriedades termodinâmicas macroscópicas de sistemas químicos. Cabe salientar que as interações intermoleculares e seu entendimento ganham sua expressão máxima em sistemas biológicos. As moléculas da vida (DNA, RNA, proteínas etc.) são mantidas em suas estruturas tridimensionais através de interações intra e intermoleculares.

Observamos que algumas dificuldades de entendimento estão relacionadas não só às interações entre as moléculas mas, também, à própria interação entre os átomos — ligação química — que dá origem à molécula. Nesse sentido, pensar na formação da molécula é pensar nas ligações que irão se estabelecer. É necessário compreender as interações eletrostáticas estabelecidas entre os átomos e perceber que isso é algo fundamental para que a formação da molécula. Uma vez formada, é preciso compreender que ela não será um constituinte isolado no meio e, portanto, existirão interações entre as moléculas para a composição da substância. Portanto, tanto as interações interatômicas como as intermoleculares se mostram essenciais no entendimento do conceito de molécula.

A partir desses estudos das concepções, consideramos que seria importante incluir a visão das interações nas formas de entendimento sobre molécula. Apresentaremos em capítulos posteriores como essa visão se consolidou após análise dos dados empíricos e resultou na constituição de uma nova zona do perfil conceitual de molécula.

A partir dessas análises e das quatro zonas pré-estabelecidas por Mortimer e Amaral (2014), produzimos também um questionário a ser aplicado em estudantes de graduação com questões que envolvessem algumas das características citadas pelos diversos autores. Com ele, buscamos esclarecer as formas de falar e modos de pensar que estavam estabelecidas no domínio ontogenético através das concepções alternativas para, então, aprofundar em parte do domínio microgenético.

## **CAPÍTULO 4**

---

**O novo perfil conceitual de molécula: as zonas e os seus compromissos**

Neste capítulo, apresentaremos a definição das seis zonas estabelecidas para o novo perfil conceitual de molécula e os compromissos ontológicos e epistemológicos que as estabilizam. Para isso, evidenciaremos também as formas de falar e os modos de pensar que enquadrados nas diferentes zonas. Serão usadas formas identificadas nos diversos dados analisados e que consideramos representativas de cada uma das zonas.

Nosso objetivo é apresentar o novo perfil conceitual e suas zonas e, posteriormente, com a análise dos dados, demonstraremos como isso foi obtido, consolidado e validado pelos dados empíricos. Escolhemos iniciar com a apresentação das zonas do novo perfil, antes dos dados examinados, para que fosse possível um entendimento mais claro da análise que realizamos. Cabe ressaltar, entretanto, que conforme descrito no percurso metodológico, essa ordem de apresentação não corresponde ao que cronologicamente foi realizado na pesquisa, uma vez que a definição das zonas só foi possível após análise dialogada dos diversos dados. Consideramos que, para o entendimento do leitor em relação à apresentação dos dados, faz-se necessário conhecer quais são as zonas, os modos de pensar e falar e seus respectivos compromissos.

O exame do conjunto de dados foi realizado de modo dialógico, e não sequencial, no sentido de que os dados referentes a cada domínio genético foram, a todo tempo, articulado com os demais. Conforme já citado no percurso metodológico, os indícios observados após estudo das concepções alternativas foram também constatados nos livros didáticos e depois confirmados pela análise prévia dos questionários. Nesse sentido, a construção das zonas do perfil se deu de forma articulada e as novas zonas puderam ser confirmadas com a reanálise dos dados e estudo das novas informações.

Sendo assim, a partir dessa pesquisa, passamos a entender que o perfil conceitual de molécula deve ser constituído de seis zonas:

- primeiros princípios;
- substancialismo;
- átomos geometricamente arranjados;
- composicionista;

- interacionista;
- molécula moderna.

Em relação aos estudos iniciais do perfil conceitual de molécula realizados por Mortimer e Amaral (2014), indicamos duas novas zonas: interacionista e composicionista — e renomeamos a zona “química moderna” para “molécula moderna”. Definimos também readequações para algumas características de zonas já existentes, mas que passaram a integrar a definição de novas zonas.

As duas novas zonas — interacionista e composicionista — foram identificadas quando, ao analisar os domínios ontogenético e microgenético, observamos compromissos que diferiam daqueles que identificamos nas zonas propostas por Mortimer e Amaral (2014) ou expandiam compromissos que estavam incluídos em outras zonas.

Um dos compromissos que enquadrámos na nova zona — interacionista — deriva de uma menção ao comportamento relacional que foi englobado por Mortimer e Amaral (2014) na zona química moderna. Fizemos, porém, uma delimitação para enquadrá-lo na zona interacionista, uma vez que os dados analisados permitiram inferir que há uma diferença entre o compromisso das respostas que usam conceitos ligados à química moderna daqueles cujas respostas focam nas interações (relações) entre as moléculas. Por exemplo, explicar uma ligação química utilizando conceitos de orbitais atômicos e moleculares (molécula moderna) revela um compromisso distinto daquele que explica a ligação apenas como uma interação ou força entre os átomos (interacionista). No primeiro caso, observamos o uso de expressões e definições relacionadas à química moderna enquanto, no segundo, há apenas o foco na interação entre os átomos. Dessa forma, entendemos que os compromissos são diferentes e que estabilizariam diferentes zonas — molécula moderna e interacionista.

Além disso, os compromissos para a zona interacionista começaram a surgir já nos estudos das concepções alternativas, conforme descrevemos na seção do tema. Percebemos diversos entendimentos dos estudantes que são associados às dificuldades de compreensão das interações intra e intermoleculares. Posteriormente, na análise dos dados, os modos de pensar e falar baseados nas interações foram se confirmando e até mesmo se expandindo. Além de falarem sobre as interações nas moléculas, observamos

formas de falar que tratavam das interações das moléculas com o meio para justificar algumas propriedades macroscópicas, como a cor das substâncias.

A outra nova zona é a composicionista, que, inicialmente, nos parecia ser parte da zona átomos geometricamente arranjados; porém, após a análise dos dados, percebemos novamente uma distinção entre os compromissos relacionados a essas duas zonas. Na composicionista, identificamos que o foco era apenas na constituição/composição da molécula, ou seja, a molécula teria grupos específicos, átomos determinados e ligações químicas específicas que resultariam em certas propriedades, mas a posição espacial dos grupos ou átomos não era fator relevante nas definições apresentadas. Dessa forma, entendemos que dizer que uma molécula de álcool é aquela que tem a fórmula  $C_2H_6O$  difere de dizer que, para ser álcool, o grupo OH precisa estar ligado ao carbono tetraédrico. Nesse último caso, a formulação explicita a posição espacial dos grupos ligantes e o arranjo dos átomos, remetendo a um compromisso da zona átomos geometricamente arranjados.

Já na análise dos livros didáticos, foi possível identificar direcionamentos para a zona composicionista, por exemplo, no livro de Bioquímica, em que observamos o pertencimento ou não a um grupo específico devido à composição da molécula em análise. Em outras palavras, para ser uma proteína, é preciso ter grupos aminoácidos. Esse caráter composicionista se mostrou também bastante presente no livro de Química Orgânica, o que se confirmou nas aulas da disciplina correspondente que foram analisadas no final da pesquisa.

Mesmo após esses indícios das concepções alternativas e dos livros didáticos, realizamos também uma análise inicial dos questionários baseada apenas nas quatro zonas propostas por Mortimer e Amaral (2014). Porém, percebemos que essas quatro zonas não eram suficientes para modelar as distintas formas de falar e modos pensar que estavam sendo apresentados nas respostas das questões. A partir de então, definimos que era necessária a reformulação das zonas do perfil conceitual de molécula.

Após essa separação, demarcamos que a zona átomos geometricamente arranjados tem o foco na geometria, ou seja, limitamos nessa zona os compromissos que se dedicam à organização espacial e ao arranjo dos átomos combinados para justificar as propriedades e as características da molécula.

As zonas primeiros princípios e substancialismo mantiveram as características definidas por Mortimer e Amaral (2014). Porém, com as informações analisadas, foi possível obter um maior detalhamento das formas de falar e modos de pensar para a zona substancialismo, enquanto a zona primeiros princípios não foi observada nos dados empíricos.

Apresentamos no Quadro 1 as seis zonas e suas definições.

Quadro 1 – Zonas do perfil conceitual de molécula e suas definições

Zonas do perfil de molécula	Definições das zonas
Primeiros princípios	Cada ser material é composto por uma matéria primordial e uma forma de ser. Princípios não-materiais e de transmutação, que deram origem às formas de pensar, como a Alquimia.
Substancialismo	A menor parte (molécula) tem as mesmas propriedades — como temperatura de ebulição, temperatura de fusão, cor etc. — do todo (substância).
Átomos geometricamente arranjados	As propriedades de qualquer corpo material dependem da sua topologia (como os átomos estão ordenados) e da sua geometria (arranjos dos átomos).
Composicionista	A molécula é constituída por partes específicas (átomos, grupos funcionais, ligações químicas), e determinadas propriedades observadas para as substâncias são devidas à constituição/composição molecular, ou seja, dependem do número e do tipo dos átomos que compõem a molécula.
	As características da molécula estão



Interacionista	relacionadas à ligação química estabelecida entre os átomos. As propriedades da substância estão associadas à interação que a molécula realiza com outras moléculas ou com o meio.
Molécula moderna	A estrutura molecular é uma coleção de núcleos e elétrons deslocalizados no qual as partículas idênticas são indistinguíveis e as ligações entre os átomos são explicadas por meio de orbitais.

Fonte: autoria própria

Apresentamos no Quadro 2 as formas de falar, que refletem modos de pensar, e os compromissos que se referem à cada zona. Considerando que, para a zona primeiros princípios, não foram identificadas formas de falar nos dados analisados, não vamos incluí-la neste quadro. Mesmo que essa zona não tenha sido detectada nos dados empíricos que trabalhamos, sugerimos que ela permaneça no perfil visto que nossos dados foram coletados em um nicho bastante científico (acadêmico) e, em trabalhos futuros, ela possa ser identificada se a pesquisa for realizada em esferas não científicas.

Quadro 2 – Formas de falar, os compromissos estabelecidos e as zonas que remetem

<b>Formas de falar<sup>2</sup></b>	<b>Compromissos ontológicos e epistemológicos</b>	<b>Zonas do perfil conceitual de molécula</b>
<p>“Molécula é uma substância com número fixo de átomos ligados covalentemente entre si.”</p> <p>“Molécula é uma substância onde há combinação de diferentes átomos entre si.”</p> <p>“Molécula é toda substância formada por dois ou mais átomos.”</p>	<p>- A molécula individual retém todas as propriedades da substância (ontológico).</p> <p>- As propriedades macroscópicas da substância são atribuídas ao átomo ou à molécula (ontológico).</p> <p>- A molécula é uma substância (epistemológico).</p>	<p>Substancialismo</p>
<p>“Moléculas são arranjos de átomos em uma proporção definida.”</p> <p>“Molécula é uma estrutura formada por um ou</p>	<p>- A molécula é uma organização de átomos com arranjo espacial específico (epistemológico).</p> <p>- A molécula possui uma estrutura bem definida</p>	<p>Átomos geometricamente arranjados</p>

<sup>2</sup> Nos exemplos com as formas de falar identificadas, seja nesse quadro ou em outros quadros do trabalho, podem existir erros conceituais expressos pelos estudantes. Esses exemplos não foram excluídos da análise pois, pensando na proposta do programa de pesquisa em perfis conceituais, permitem identificar quais são os compromissos que os estudantes apresentam e, portanto, a zona predominante naquela fala. Nesse sentido, podemos ter como exemplo modos de falar e pensar que não correspondem à definição exata do conceito cientificamente expresso para determinada zona. Há que se lembrar que no perfil de molécula existem zonas, como por exemplo a substancialista, que em si encerram um erro conceitual – atribuem propriedades do todo (substância) à molécula.

<p>mais átomos.”</p> <p>“Moléculas seriam arranjo de átomos.”</p> <p>“Um arranjo aproximadamente tetraédrico dos pares de elétrons de uma molécula de água que resulta quando os pares de elétrons isolados são considerados ocupando os vértices. Este arranjo explica a forma angular da molécula de água.”</p>	<p>(epistemológico).</p> <p>- Para diferir quais são os compostos identificados por fórmulas moleculares, é preciso dizer a organização dos átomos (ontológico).</p>	
<p>“A diferença nas temperaturas de ebulição pode ser explicada pelo fato de que a presença de grupos funcionais contribui para o aumento da T.E., uma vez que eles tornam mais difícil a quebra da molécula.”</p> <p>“A primeira amina possui duas ligações de H enquanto a segunda apresenta uma só. Essa ligação é considerada forte e por isso faz com que a molécula tenha uma T.E mais alta.”</p> <p>“Molécula é constituída de vários pedacinhos.”</p>	<p>- A composição da molécula justifica as propriedades da substância (ontológico).</p> <p>- A molécula é constituída de determinados tipos de átomos (epistemológico).</p> <p>- Os compostos são classificados conforme a composição da molécula (ontológico).</p> <p>- A molécula é um conjunto de átomos (epistemológico).</p>	<p>Composicionista</p>

<p>“Molécula de água é igual eu te falei (<i>sic</i>), um O e os dois H.”</p> <p>“Molécula é um conjunto de átomos que formam uma unidade mínima de um material, com características iguais a outra unidade mínima”</p> <p>“A maioria das biomoléculas deriva dos hidrocarbonetos, tendo átomos de hidrogênio substituídos por uma grande variedade de grupos funcionais que conferem propriedades químicas específicas à molécula”</p>		
<p>“ É possível solubilizar o fulereno porque ele tem uma estrutura mínima, ou seja, moléculas de C<sub>60</sub> que interagem entre si, portanto para solubilizá-lo é necessário romper apenas interações intermoleculares [...]”.</p> <p>“A cor do material é devido (<i>sic</i>) como ele absorve e reflete a luz. Neste caso por se tratar de materiais com</p>	<p>- As propriedades das substâncias são justificadas pela interação entre as moléculas (ontológico).</p> <p>- A molécula é formada pela interação de átomos, ou seja, ligações químicas (epistemológico).</p> <p>- As propriedades do material são justificadas pela interação dele (ou de suas</p>	<p>Interacionista</p>

<p>estruturas diferentes cada um possui formas específicas de interagir com a luz.”</p> <p>“Molécula é a ligação entre átomos que nesse caso tem uma ligação covalente e tem interações em várias moléculas.”</p> <p>“Molécula pra mim é diretamente uma ligação[...] Uma molécula de água pra mim é uma ligação covalente entre oxigênio e hidrogênio.”</p>	<p>moléculas) com o meio (ontológico).</p>	
<p>“Molécula é um composto formado por ligação química onde orbitais atômicos formam um orbital molecular, compartilhando elétrons.”</p> <p>“Molécula é um conjunto de átomos homo ou heteronuclerares.”</p> <p>“Molécula é um conjunto, uma união de átomos e orbitais.”</p> <p>“Os dois elétrons da molécula de H<sub>2</sub> ocupam o orbital molecular de menor</p>	<p>- Molécula é formada por uma combinação de orbitais (epistemológico).</p> <p>- Molécula é uma combinação de núcleos e elétrons (epistemológico).</p> <p>- Molécula é formada quando orbitais atômicos se combinam e formam orbitais moleculares (ontológico).</p> <p>- Nas moléculas, os elétrons transitam em regiões denominadas orbitais (ontológico).</p>	<p>Molécula moderna</p>

<p>energia (ligante) e forma (<i>sic</i>) uma molécula estável.”</p> <p>“Cada ligação <math>\sigma</math> (sigma) em uma molécula poliatômica é formada pelo emparelhamento dos spins dos elétrons em quaisquer orbitais atômicos que tenham simetria cilíndrica em torno do eixo internuclear relevante.”</p> <p>“De um certo ponto de vista uma molécula é um arranjo estável de um grupo de núcleos e elétrons”</p>		
--	--	--

Fonte: autoria própria

Na zona substancialismo, exemplificamos com formas de falar que remetiam à ideia central da zona — o fato de a molécula ser considerada a própria substância — e, dessa forma, há uma transposição direta das propriedades da substância para características da molécula. Poderíamos pensar no exemplo no qual um estudante justifica a temperatura de ebulição tendo em vista as características da molécula isolada. Nesses casos, não há, por parte do estudante, um discernimento de que a substância é formada pelo conjunto de moléculas e que, para avaliar as propriedades das substâncias, seria necessário pensar nesse conjunto. Assim, ele afirma que a molécula X tem maior temperatura de ebulição pois possui certas características.

Para a zona átomos geometricamente arranjados, ficou bem delimitada a ideia de que as definições que nela se enquadram levam em consideração a organização espacial dos átomos que compõem as moléculas. Essa ideia é tão relevante para os estudantes que eles a apresentam como justificativa central nas explicações dos problemas

propostos. Nesse sentido, um arranjo bem definido ou um posicionamento específico justificaria algumas propriedades analisadas.

Na zona composicionista, percebemos que o compromisso está no que compõe a molécula, ou seja, do que ela é constituída. Em algumas subáreas da química isso ficou mais evidente, como na Bioquímica, em que os compostos são identificados por possuírem grupos específicos em sua composição. É perceptível, porém, que o composicionismo está presente na química como um todo, a exemplo de quando tratamos de fórmulas moleculares de maneira genérica, como  $C_5H_{12}$ , e estamos focados apenas na constituição, ou seja, em quantos átomos estão combinados para formar uma dada molécula. Se quisermos, contudo, aprofundar no entendimento daquela fórmula que nos foi apresentada, precisamos abordar arranjos dos átomos e interações entre eles, para que, então, estejamos tratando de compromissos que diferem da ideia de se conhecer apenas a composição.

Entendemos que as zonas átomos geometricamente arranjados e composicionista remetem à ideia da molécula na química clássica. Estão, portanto, vinculadas às noções estruturalistas e constitucionais das moléculas, de modo que não associam aspectos energéticos e estudos de química/física quântica.

Na zona interacionista, por sua vez, começamos a observar aspectos relacionados à química moderna, uma vez que as interações — sejam elas interatômicas, intramoleculares ou intermoleculares — são explicadas por forças eletrostáticas, ou seja, pelas relações energéticas envolvidas. Dessa forma, a ideia central estabelecida nessa zona é que as interações entre os átomos explicam as características das moléculas, e as interações entre as moléculas justificam as propriedades das substâncias. Poderíamos exemplificar, também, com as interações que as moléculas estabelecem com o meio externo e, portanto, justificam algo observável macroscopicamente. No caso das cores observadas para substâncias, alguns estudantes afirmam que a diferença entre elas se dá pela interação que a substância faz com a luz que incide sobre ela.

A zona molécula moderna é caracterizada por formas de falar que aprofundam no conhecimento moderno sobre as moléculas. Dessa forma, temos como prioridade definições que utilizam conceitos vinculados à física e química quântica, como é o caso do conceito de orbital. Para se definir a molécula sob essa característica, é necessário

compreender os aspectos quânticos envolvidos e entender que, em molécula, não haverá uma posição estática definida para um átomo, e, sim, que a molécula é resultante de uma combinação de orbitais atômicos que dão origem a orbitais moleculares, gerando uma estrutura polinuclear. Sendo assim, átomos idênticos seriam indistinguíveis numa molécula, e a organização dos elétrons precisaria ser estudada em questões energéticas que podem ser modeladas por equações matemáticas. Também é importante enfatizar a movimentação dos elétrons na molécula, criando as nuvens eletrônicas com regiões de diferentes densidades eletrônicas.

Após as delimitações das zonas apontadas, apresentaremos, no próximo capítulo, as análises de dados empíricos baseadas no novo perfil conceitual composto pelas seis zonas, além das diversas situações em que as zonas foram identificadas. A partir dos dados, discutiremos ainda mais as características de cada zona e as relações com o ensino do conceito de molécula.



## **CAPÍTULO 5**

---

### **Análise dos dados empíricos**

### 5.1 Análise de livros didáticos

A análise de livros didáticos se coloca como critério metodológico nas pesquisas para construção de perfis conceituais, uma vez que fornece dados vinculados ao domínio sociocultural. Como nossa pesquisa estava vinculada ao ensino superior, analisamos livros didáticos utilizados nesse nível em diferentes subáreas da química.

Buscamos por livros que, geralmente, são indicados como referências principais nas áreas da química, além de terem sido, também, sugeridos como diretriz nas disciplinas em que aplicamos os questionários e analisamos aulas. Nesse sentido, examinamos livros de: Química Geral, Bioquímica, Química Orgânica, Química Analítica, Físico-Química e Física Quântica — sendo esse último referência na disciplina Introdução à Estrutura da Matéria e, portanto, relacionado aos estudos de química moderna. Abaixo, apresentamos a lista com os títulos e a subárea que a eles relacionamos:

- Princípios de química – Atkins & Jhones (Química Geral e Inorgânica);
- Físico-Química – Atkins & Paula;
- Química analítica – Voguel;
- Princípios de Bioquímica de Lehninger – Nelson e Cox;
- Física quântica – Eisberg & Resnick;
- Química Orgânica – Solomons e Fryhle

Esses livros estão relacionados às matérias dos três cursos envolvidos na nossa pesquisa. Para um panorama do espectro do curso, listaremos as disciplinas iniciais de cada área às quais os livros estão associados e em quais períodos dos cursos elas ocorrem, de acordo com as matrizes disponíveis no site do Departamento de Química da UFMG.

- Química Geral (1º período);
- Química Inorgânica I (2º período);
- Físico-Química I (3º período);
- Química Orgânica I (3º período – licenciatura e bacharelado / 2º período – tecnológica);
- Fundamentos de Química Analítica (3º período);

- Introdução à Bioquímica (6º período – licenciatura e bacharelado / 5º período – tecnológica);
- Introdução à Estrutura da Matéria (5º período – licenciatura / 6º período – tecnológica).

Nossa análise foi realizada em versões digitais dos livros e, assim, buscamos pelas palavras “molécula”, “moléculas” e “moleculares”, de modo a tentar identificar definições explícitas de seu conceito. Quando não foi possível encontrar essas definições, demos uma olhada panorâmica do sumário e elencamos itens que poderiam fazer alguma referência, como ligações químicas e interações intermoleculares. Após essa busca, visitamos os textos dos itens identificados e analisamos trechos que estivessem relacionados à definição de molécula.

Ao identificarmos os conceitos ou definições relacionadas, enquadramos todos eles nas possíveis seis zonas do perfil conceitual de molécula estabelecido neste trabalho. Apresentaremos, a seguir, as definições encontradas para cada livro analisado.

### **Química Geral - Princípios de química – Atkins & Jhones (2010)**

Essa obra é comumente usada nas disciplinas de Química Geral e Química Inorgânica, e o próprio título do livro faz referência aos aspectos introdutórios. Antes de iniciar o capítulo 1, os autores trazem uma seção que chamam de “Fundamentos”, na qual apresentam uma breve revisão dos principais assuntos que serão tratados. Foi nessa seção que identificamos as primeiras definições de molécula no livro. No quadro 3, apresentaremos essas definições — com suas respectivas páginas — e as zonas que classificamos a partir delas.

Quadro 3 – Zonas e trechos identificados no livro Princípios de Química

<b>Zonas do perfil de molécula</b>	<b>Trechos identificados</b>
Substancialismo	<p>“Outro aspecto importante de um composto molecular é sua forma (geometria).” p. F24</p> <p>“As formas das moléculas determinam seus odores, sabores e ação</p>

	como fármacos.” p. 93
Átomos geometricamente arranjados	“Molécula é um grupo discreto de átomos ligados em um arranjo específico.” p. F22
Composicionista	<p>“Fórmula molecular é a fórmula química que mostra quantos átomos de cada tipo de elemento estão presentes em uma única molécula do composto.” p. F23</p> <p>“A fórmula molecular da água é <math>H_2O</math>, isto é, cada molécula de água contém um átomo de O e dois átomos de H.” p. F23</p> <p>“Um composto molecular é formado por moléculas eletricamente neutras.” p. F22</p>
Molécula moderna	“Os dois elétrons da molécula de $H_2$ ocupam o orbital molecular de menor energia (ligante) e formam uma molécula estável.” p. 116

Fonte: autoria própria

Nesse livro de Química Geral, identificamos definições em quatro zonas: substancialismo, átomos geometricamente arranjados, composicionista e molécula moderna. Para a zona substancialismo, observamos que os autores estavam se referindo à forma da molécula — no caso, à organização de seus átomos —, mas faziam referência às características do composto molecular. Por outro lado, sabor e odor são propriedades da substância e, no trecho mostrado, é dito que “a fórmula da molécula determina **seus** (grifo adicionado) sabores e odores”. Nesses trechos, fica evidente que características da molécula foram transpostas para as propriedades das substâncias.

Para a zona átomos geometricamente arranjados, observamos definições que explicitavam o compromisso com um arranjo específico. Já na zona composicionista, há

uma identificação da constituição dos compostos moleculares e, até mesmo, de moléculas específicas como a de água.

A zona molécula moderna foi observada nos trechos em que os autores explicavam as ligações químicas baseados na teoria dos orbitais moleculares, nos quais citavam, explicitamente, palavras como “orbitais moleculares”.

Além dessas definições, chamou-nos atenção um trecho do livro no qual os autores atentam que “Estilos diferentes de modelos moleculares são usados para enfatizar características moleculares diferentes” (p. F24). Nesse momento, eles estavam ressaltando as diferenças entre três representações de moléculas: fórmulas estruturais de linhas, modelo bola-vareta e modelo de densidade eletrônica. Entendemos que, de maneira indireta, os autores alertam para as diferentes formas possíveis de entender e visualizar a estrutura molecular. Essa visão vai ao encontro da ideia do perfil conceitual de molécula, pois explicita as diversas formas de falar e pensar sobre o conceito e que tais formas serão usadas em momentos/contextos distintos.

#### **Físico-Química – Atkins & Paula**

Esse livro geralmente é indicado como referência bibliográfica para as disciplinas de Físico-Química 1 e 2. Observamos uma característica semelhante ao livro anteriormente analisado, em que os autores trazem a seção “Fundamentos” antes de iniciarem os capítulos — acreditamos que essa seja uma característica de um dos autores que participou da autoria de ambos os livros analisados. Novamente, foi nessa seção que identificamos definições para o conceito de molécula. No Quadro 4, apresentaremos essas definições e as zonas nas quais as enquadraremos.

Quadro 4 - Zonas e trechos identificados no livro de Físico-Química

<b>Zonas do perfil de molécula</b>	<b>Trechos identificados</b>
Interacionista	“As ligações entre os átomos de uma molécula são covalentes.” p. 2
Molécula moderna	“Cada ligação $\sigma$ (sigma) em uma molécula poliatômica é formada pelo emparelhamento dos spins dos elétrons

	em quaisquer orbitais atômicos que tenham simetria cilíndrica em torno do eixo internuclear relevante.” p. 317
--	--

Fonte: autoria própria

Identificamos a zona átomos geometricamente arranjados, na qual podemos novamente observar o compromisso com a posição dos átomos e a forma da molécula. Há, aqui, um trecho que ilustra o compromisso com a interação interatômica, ou seja, descreve o tipo de ligação que ocorre na molécula — ligações covalentes entre os átomos.

Molécula moderna também foi uma zona identificada nesse livro, uma vez detectado um trecho que explica a molécula e suas ligações em termos de orbitais e spins dos elétrons.

### **Princípios de Bioquímica de Lehninger – Nelson e Cox (2014)**

Nesse livro não encontramos definições explícitas para o conceito de molécula, embora tenhamos observado conceitos diretamente relacionados, como o de biomoléculas. Então, a partir deles, tentamos identificar as zonas, de maneira que reconhecemos a átomos geometricamente arranjados nos trechos em que os autores evidenciavam o compromisso com a conformação da molécula — arranjo dos átomos e ângulos — e a composicionista, quando os autores se referiam à composição das biomoléculas. No Quadro 5, apontaremos esses trechos e as zonas.

Quadro 5 - Zonas e trechos identificados no livro de Bioquímica

<b>Zonas do perfil de molécula</b>	<b>Trechos identificados</b>
Composicionista	“A maioria das biomoléculas deriva dos hidrocarbonetos, tendo átomos de hidrogênio substituídos por uma grande variedade de grupos funcionais que conferem propriedades químicas específicas à molécula.” p. 12

Fonte: autoria própria

O trecho identificado para a zona átomos geometricamente apresenta uma forma de falar bastante característica da química em momentos nos quais o foco é a organização espacial, chegando até a detalhar qual o valor do ângulo entre os ligantes. Esses trechos são comumente observados em temas como geometria molecular e estudos de estereoquímica, como é o caso.

Identificamos um trecho híbrido com a presença de formas de falar relacionadas a três zonas:

As ligações covalentes e **os grupos funcionais das biomoléculas** são, obviamente, essenciais para o seu funcionamento, **como também é o arranjo dos constituintes atômicos das moléculas no espaço tridimensional** – isto é, sua estereoquímica. **Compostos contendo carbono** normalmente existem como estereoisômeros, moléculas com as mesmas ligações químicas e mesma fórmula molecular, mas com diferentes configurações. **Interações entre biomoléculas são invariavelmente estereoespecíficas**, exigindo configurações específicas das moléculas interagentes. (LEHNINGER *et al.*, 2014,p.16 – grifo nosso)

Há, nesse trecho, compromisso com a organização no espaço tridimensional, com a composição e com as interações. No último grifo, não seria possível dissociar as ideias pois consideram que as interações são dependentes da estereoquímica do composto.

### **Química analítica - Voguel (1981)**

Aqui, identificamos apenas um trecho que enquadramos na zona composicionista: “Pela fórmula empírica sabemos quantos átomos de cada elemento formam a molécula do composto”. Nesse caso, observamos uma forma de falar que se preocupa com o número de átomos que constituem a molécula.

### **Física quântica – Eisberg & Resnick (2006)**

Nesse livro, temos um capítulo intitulado “Moléculas” no qual identificamos as definições do conceito de molécula que serão apresentadas no Quadro 6, juntamente com as zonas nas quais as enquadraremos.

Quadro 6 - Zonas e trechos identificados no livro de Física Quântica

Zonas do perfil de molécula	Trechos identificados
Compositorista	<p>“Dois ou mais átomos podem se combinar para formar uma molécula estável.” p. 529</p> <p>“De outro ponto de vista, uma molécula é uma estrutura estável formada pela associação de dois ou mais átomos.” p. 529</p>
Molécula moderna	<p>“E também uma compreensão dos níveis de energia e espectros das moléculas.” p. 529</p> <p>“De um certo ponto de vista uma molécula é uma arranjo estável de um grupo de núcleos e elétrons.” p. 529</p>

Fonte: autoria própria

Identificamos três zonas nesse livro que foi usado como referência na disciplina relativa à Química Quântica — Introdução à Estrutura da Matéria. A compositorista foi identificada em um trecho no qual os autores faziam uma comparação entre dois pontos de vista sobre a molécula e, em parte do trecho, citavam a combinação entre dois ou mais átomos. A zona interacionista foi identificada quando os autores se referiram às forças interatômicas que ligam o átomo na molécula. Nesse caso, foi possível identificar o foco no compromisso com a interação entre os átomos que formarão a molécula, ou seja, a interação é a parte essencial para se formar a molécula.

Nós enquadrámos na zona molécula moderna o trecho em que os autores tratam a molécula como um grupo de núcleos e elétrons, ou seja, remetem à forma de falar da molécula polinuclear, em que não há uma delimitação para cada átomo. Observamos, novamente, um livro que explicita diferentes formas de falar sobre molécula. Incluímos nessa zona também o trecho em que os autores relacionam a compreensão da molécula aos seus níveis de energia e espectros.



### Química Orgânica – Solomons e Fryhle (2001)

Esse livro é usado como referência nas disciplinas de Química Orgânica. O livro apresenta o primeiro capítulo intitulado de “O básico, Ligação e estrutura molecular”, no qual encontramos algumas definições que serão apresentadas no Quadro 7. Além disso, contém diversos capítulos que fazem o estudo de moléculas específicas, observando suas estruturas e os grupos funcionais. Verificamos quatro zonas distintas, conforme demonstraremos a seguir.

Quadro 7 - Zonas e trechos identificados no livro de Química Orgânica

Zonas do perfil de molécula	Trechos identificados
Composicionista	“Os elementos normalmente encontrados nas moléculas orgânicas são carbono, o hidrogênio, o nitrogênio, o oxigênio, o fósforo e o enxofre [...]” p. 4
Interacionista	<p>“As moléculas são constituídas de átomos unidos exclusiva ou predominantemente por ligações covalentes.” p. 8</p> <p>“A formação da ligação entre dois átomos de hidrogênio para produzir uma molécula de hidrogênio.” p. 23</p>
Química moderna	<p>“Os orbitais atômicos fornecem meios para o entendimento de como os átomos formam ligações covalentes. [...]”</p> <p>“Portanto, na formação da molécula de hidrogênio, os dois orbitais atômicos <math>\Psi_{1s}</math> se combinam para produzir dois orbitais moleculares.” p. 24</p>

Fonte: autoria própria

A zona átomos geometricamente arranjados foi identificada nesse livro em trechos que remetiam ao arranjo e à geometria das moléculas, conforme exemplificado no quadro anterior. A zona composicionista surgiu em trechos muito observados nesse livro, quais sejam, os que remetiam à composição das moléculas, uma vez que a identificação de grupos funcionais e da constituição das moléculas é parte fundamental no entendimento de química orgânica. Já a zona interacionista foi identificada quando o foco da definição era a ligação covalente estabelecida entre os átomos que formam a molécula.

A zona molécula moderna pôde ser observada, por exemplo, em trechos nos quais estavam sendo explicadas as ligações por meio da combinação de orbitais. Nesse sentido, por terem sido usados termos diretamente ligados à química moderna, enquadramos tais modos de falar nessa zona.

### **Considerações sobre a análise dos livros**

Observamos nos livros analisados das diferentes áreas formas de falar sobre o conceito de molécula que classificamos em cinco zonas distintas. Em quatro desses seis livros, conseguimos identificar a zona átomos geometricamente arranjados e em apenas um deles, a zona substancialismo. Acreditamos que essa frequência da zona átomos geometricamente arranjados esteja associada com a relevância que é dada nos livros para o ensino de geometria molecular, reforçando o compromisso da organização bem definida dos átomos.

Apenas no livro de Bioquímica e Analítica não observamos a zona molécula moderna. Nesses livros, parece-nos que não há uma preocupação em ensinar a formação das ligações químicas baseada na teoria de orbitais e, talvez, seja por isso que não identificamos essa zona. Por outro lado, observamos muitos trechos com a zona átomos geometricamente arranjados e composicionista, já que o arranjo estrutural e a composição têm uma grande importância nos processos bioquímicos.

## 5.2 – Análise das entrevistas

Foram entrevistados 15 estudantes de graduação em Química, nas modalidades licenciatura e bacharelado e em diversos períodos do curso, para possibilitar a identificação de zonas frente ao domínio microgenético. Os entrevistados foram dos seguintes períodos: quatro do terceiro período, um do quarto, cinco do quinto, quatro do sexto e um do sétimo. Esses períodos são indicados conforme o número de matrícula do estudante, representando então o período cronológico do curso em que eles se encontram; entretanto, por conta dos atrasos que ocorrem nos cursos devido às reprovações, é possível que eles estejam cursando disciplinas de semestres anteriores.

As entrevistas foram semiestruturadas com questões desenvolvidas após a primeira análise dos questionários, dos dados de concepções alternativas e livros didáticos. Os estudos de concepções alternativas, inclusive, auxiliaram bastante a pensar o que poderia ser perguntado e como guiar as respostas dadas, já que revelaram importantes maneiras de como os estudantes pensam sobre o conceito de molécula e quais são as principais dificuldades apresentadas. Nesse sentido, utilizamos a entrevista para esclarecer algumas dessas formas de falar e modos de pensar que os estudantes carregam em suas concepções sobre moléculas, sejam elas científicas ou escolares.

A entrevista se iniciou com a apresentação de uma garrafa plástica transparente — com rótulo comercial para água mineral — e preenchida com água até cerca de dois terços. Em seguida, realizamos a seguinte pergunta central da entrevista: **o que você diria que tem dentro da garrafa?**

Inicialmente, a maioria dos estudantes respondeu que a garrafa continha água e, em seguida, os estudantes foram direcionados a identificar, numa visão submicroscópica, seu conteúdo. Quando diziam ter moléculas, foram solicitados a dar uma definição, com suas palavras, para esse conceito. Os alunos que não respondiam diretamente sobre o conteúdo da garrafa foram direcionados, por perguntas do entrevistador, até a ideia de molécula e, então, era solicitada a definição.

Após dar a primeira definição de molécula, os entrevistados eram questionados sobre como fariam a definição do conceito se estivessem explicando-o para uma

criança. Observamos que as respostas não mudavam muito o compromisso anteriormente apresentado; porém, eram feitas algumas adequações na linguagem, tais como a troca da palavra “ligados” por “unidos” por alguns entrevistados. Então, a molécula, que antes havia sido definida por uma ligação entre átomos, passou a ser definida por uma união entre átomos. Pudemos observar que o compromisso da interação permanecia nas duas respostas e, portanto, optamos por apresentar nas análises apenas um dos exemplos; em alguns casos, o entrevistado mudou o compromisso usado nas respostas, e apresentaremos também algumas dessas situações. Por essas razões, temos um número maior de respostas que de entrevistados, já que cada um deles pôde trazer formas de falar e pensar que foram enquadradas em mais de uma zona.

Como começamos a situação apresentando a garrafa com água, algumas definições foram mais específicas em relação à substância apresentada e circularam em torno da sua molécula.

No Quadro 8, apresentaremos algumas definições dadas pelos estudantes nas entrevistas e as zonas em que as enquadramos. Cada entrevistado será identificado pela letra E seguida de um número de 1 a 15.

A transcrição da linguagem verbal dos trechos selecionados das entrevistas foi feita de forma literal, seguindo Mortimer e Buty (2009). Os pontos de interrogação e finais foram inferidos da fala e correspondem, respectivamente, a uma elevação e a um decréscimo na entonação. Usamos, ainda, a barra (/) para indicar as pausas curtas de, no máximo, 0,4 s.

Quadro 8 – Zonas do perfil e trechos das respostas das entrevistas

<b>Zonas do perfil de molécula</b>	<b>Trechos das respostas</b>
Átomos geometricamente arranjados	“Moléculas seriam arranjo de átomos.” E4
Molécula moderna	“Molécula é um conjunto/ uma união de átomos e orbitais.” E2

Interacionista	<p>“A união de um átomo com outro átomo forma uma molécula/basicamente.” E2</p> <p>“Uma molécula de água é um oxigênio ligado a dois hidrogênios.” E3</p> <p>“Molécula é a ligação entre átomos que nesse caso tem uma ligação covalente e tem interações em várias moléculas.” E5</p> <p>“Molécula é um conjunto de átomos ligados entre si por ligações covalentes.” E7</p> <p>“Molécula de água são hidrogênios ligados a oxigênio formando a molécula.” E8</p> <p>“Hidrogênio e oxigênio e eles se juntam para formar várias moléculas formando a água.” E10</p> <p>“Molécula pra mim é diretamente uma ligação[...] Uma molécula de água pra mim é uma ligação covalente entre oxigênio e hidrogênio.” E11</p> <p>“Contém átomos ligados entre si. [Para água] É um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de hidrogênio.” E12</p> <p>“Molécula são vários átomos unidos</p>
----------------	---

	<p>formando uma molécula/ por exemplo/ a de água são átomos de hidrogênio e oxigênio ligados.” E14</p>
Composicionista	<p>“Molécula de água é igual eu te falei (<i>sic</i>)/ um O e os dois H.” E1</p> <p>“Molécula é constituída de vários pedacinhos.” E6</p> <p>“Um conjunto de vários átomos que formam alguma coisa.” E10</p> <p>“Molécula é um agrupamento de átomos.” E13</p> <p>“A molécula de água é composta de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio.” E13</p> <p>“Por exemplo/ tem molécula de hidrogênio e tem molécula de oxigênio nós respiramos as moléculas de oxigênio e hidrogênio/ só que quando elas se unem em uma determinada combinação ela vira outro tipo de coisa que chamamos de água.” E9</p>
Híbrida – interacionista e molécula moderna	<p>“Eu tentei explicar para ele que [molécula] é uma concentração de energia que tinha cargas diferentes e que essas</p>

	cargas por interações/ por compartilhamento de elétron/ ou diferença de carga elas se juntavam e assim formando ( <i>sic</i> ) grandes coisas.” E9
Híbrida – composicionista e interacionista	“A água é composta por dois elementos da tabela periódica sendo o hidrogênio e oxigênio/ sendo o oxigênio fazendo duas ligações com os hidrogênios.” E15

Fonte: autoria própria

Apenas um entrevistado realizou uma definição que enquadramos na zona substancialismo. Se observarmos sua definição, percebemos que ele atribui estados físicos à molécula e não à substância. Como já vimos anteriormente no estudo de concepções alternativas, isso é um entendimento comum entre estudantes que talvez seja reforçado em sala de aula e nos livros didáticos.

Uma resposta foi classificada na zona átomos geometricamente arranjados, já que nela o entrevistado usou o compromisso do arranjo e a configuração espacial específica para definição de molécula.

Para zona molécula moderna, colocamos respostas que usaram na definição de molécula termos como energia e orbitais, uma vez que remetem ao estudo da molécula na química moderna. Observamos apenas dois entrevistados que fizeram uso desses termos, sendo que o E9 ainda apresentou uma resposta híbrida ao finalizar a explicação falando sobre as interações entre as cargas e o compartilhamento de elétrons, remetendo à zona interacionista.

Dos quinze entrevistados, nove tiveram respostas enquadradas na zona interacionista. Como critério para enquadrar nessa zona, usamos aquelas respostas que tinham o propósito de definir molécula como sendo uma ligação ou explicitando que é necessário ocorrer uma ligação — ligação covalente — ou união/interação/junção entre átomos para sua formação. Assim, essas respostas revelam o compromisso da interação entre átomos para formar a molécula, de modo que entendemos que, para esses entrevistados, não seria possível definir a molécula sem essa interação. A zona

interacionista surgiu, também, em respostas que foram classificadas como híbridas (E9 e E15).

Na zona composicionista, enquadrámos cinco respostas que basearam suas definições de molécula a partir de sua composição ou constituição. Observamos que, nessas respostas, o compromisso era dizer que a molécula é constituída por algo, como no caso da molécula da água em que os entrevistados a definem como sendo um átomo de oxigênio e dois de hidrogênio. Encontramos também respostas mais genéricas, que definem as moléculas como um conjunto ou agrupamento de átomos.

Por meio dessas entrevistas, confirmamos cinco zonas do novo perfil conceitual de molécula. O maior número de respostas se enquadraram nas zonas interacionista e composicionista, ou seja, os entrevistados se preocuparam em evidenciar a composição das moléculas por átomos e a ligação química entre os átomos para formar a molécula nas suas definições. Entendemos que essa também seja uma preocupação no ensino superior em Química, o que poderá ser verificado, também, na análise das aulas desse segmento que faremos no item a seguir.

Essa análise das entrevistas permitiu evidenciar a distinção entre as formas de falar e modos de pensar para as duas novas zonas que estabelecemos neste trabalho. Parece-nos que ficou ainda mais evidente a delimitação entre os compromissos que estabilizam essas novas zonas.



### 5.3 – Análise das aulas de ensino superior

Analizamos aulas das disciplinas de Química Geral CI e Química Inorgânica ministradas para o curso de Química, sendo que as turmas são compostas de estudantes da licenciatura e do bacharelado. Foram filmadas aulas com encontros que totalizaram 1h e 40 minutos para quatro professores diferentes, dois de cada disciplina. Buscamos essas disciplinas por entender que o conceito de molécula poderia ser explicitamente trabalhado ou até mesmo ser definido, em vez de ser apenas usado. Não houve nenhuma instrução para os professores e alunos em relação à pesquisa, uma vez que os vídeos dessas aulas foram obtidos por meio de dados de uma pesquisa anterior — e com objetivos distintos — de um colega de mestrado do grupo de pesquisa do FoCo/FaE/UFMG.

A análise teve como foco a fala dos professores. Buscamos nas aulas os momentos em que o professor fazia uso do conceito e apresentava definições e explicações acerca da molécula. Por meio dessas falas, buscamos identificar as zonas do perfil conceitual de molécula presentes nesses momentos das aulas. A transcrição da linguagem verbal adotou os mesmos critérios da transcrição das entrevistas da seção anterior.

Apresentaremos uma sintética informação sobre os conteúdos que estavam sendo trabalhados, possibilitando, assim, um melhor entendimento do contexto da aula e situando as falas dos professores que serão utilizadas para identificar as zonas.

#### Aula 1 – Química Geral

O professor fez, inicialmente, uma retomada da aula anterior e reforçou para os estudantes que, até aquele momento, eles haviam aprendido a fazer estruturas de Lewis para as moléculas, mas que, a partir de agora, eles precisariam compreender tanto a forma de organização espacial da molécula quanto o modelo que explica a forma como elas se organizam. Ademais, falou que seria preciso entender como classificamos as moléculas em polares e apolares e, também, que pensar na forma como ela se organiza estaria ligado a entender a polaridade. Assim, o foco dessa primeira aula analisada era

compreender a geometria molecular — organização espacial e polaridade das moléculas — baseada na teoria da repulsão dos pares eletrônicos.

Ao observar os assuntos trabalhados nas aulas, podemos esperar que a zona átomos geometricamente arranjados seja evidenciada, uma vez que o professor explicitou em sua introdução que o foco da aula seria a organização da molécula no espaço. No Quadro 9, apresentaremos as falas do professor e as zonas em que as enquadraremos.

Quadro 9 – Zonas do perfil e falas do professor 1

Zonas do perfil de molécula	Trechos das falas
Interacionista	<p>“Estamos falando de moléculas/ cujos átomos estão ligados via ligação covalente.”</p> <p>“Imagina lá na molécula que eu tenho os átomos ligados/ um consegue atrair bastante a densidade eletrônica/ isso tá (<i>sic</i>) me mostrando que essa densidade eletrônica está sendo atraída por esse átomo mais eletronegativo.”</p>
Compositorista	<p>“Aqui é muito simples a gente está pensando numa molécula que são apenas dois átomos.”</p> <p>“Se a gente vai numa molécula poliatômica/ tem vários átomos.”</p> <p>“A palavra molécula você vai associar quando você tiver (<i>sic</i>) falando de espécies químicas que têm ligação covalente.”</p>
Molécula moderna	<p>“Com alguns programas nós podemos desenhar as moléculas e olhar</p>

	como está a distribuição da sua nuvem eletrônica.”
--	--

Fonte: autoria própria

Conforme esperado, a zona átomos geometricamente arranjados pôde ser observada em diversas falas do professor. Nesses momentos, notamos o compromisso com a organização espacial dos átomos, resultando na geometria e arranjo bem definidos, e a caracterização de ângulos entre as ligações para as moléculas que estavam sendo estudadas. Em algumas falas, como a primeira do Quadro 9, o professor justifica que o arranjo espacial será devido à repulsão dos pares eletrônicos e, portanto, nesses casos podemos identificar um modo de falar híbrido — uma vez que a repulsão estaria relacionada à interação entre esses pares —, remetendo ao compromisso interacionista.

Nessa aula, surgiram, também, falas na zona molécula moderna no momento em que o professor apresentou imagens de representações das moléculas com cores distintas, cujo objetivo era mostrar diferentes densidades eletrônicas que deveriam ser observadas. Ele explicou que, com aquelas imagens, os estudantes poderiam observar como estaria a nuvem eletrônica da molécula, ou seja, não havia nelas uma representação específica para cada átomo isolado na molécula, mas seria possível prever a região que eles ocupam devido às atrações eletrônicas e as diferenças de cores observadas na nuvem eletrônica formada. Nesses momentos, o professor utilizou conteúdos vinculados à química moderna e, portanto, classificamos tais falas nessa zona.

A zona interacionista foi observada nos momentos em que o professor explicitou que moléculas têm seus átomos ligados por ligações covalentes, assim como quando ressaltou que os átomos mais eletronegativos atraíam mais a nuvem eletrônica. Nesses momentos, o compromisso era a interação estabelecida entre os átomos que formam a molécula. Essa zona surge, também, em conjunto com a átomos geometricamente arranjados nos trechos em que o professor justifica o arranjo espacial por meio da repulsão eletrônica.

Para a zona composicionista, observamos nas falas desse professor o compromisso com a constituição da molécula quando ressaltou características que ela

deve ter para ser considerada como tal. Notamos que aqui há apenas uma classificação: se tem ou não características para ser apontada como molécula. No exemplo do Quadro 9 em que ele fala da ligação covalente, o foco não é a atração entre os átomos na formação da molécula, mas a existência ou não da ligação covalente — e, caso exista, se ela poderia associar a palavra molécula. Nesse momento, o professor estava respondendo a uma dúvida do estudante que havia questionado como saber se o composto seria molecular ou iônico.

## Aula 2 – Química Geral

A professora iniciou a aula fazendo uma correção de estruturas de Lewis que os estudantes fizeram em casa e informou que a aula seria de geometria associada com polaridade das espécies. Ela ressaltou que é importante conhecer a geometria, pois podemos ter compostos que são formados pelo mesmo número de átomos, mas que se organizam de maneira diferente. A professora exemplificou com isômeros constitucionais e explicou que as diferenças na organização espacial poderiam implicar diferenças nas propriedades das substâncias e na reatividade. No decorrer da aula, ela e os estudantes foram prevendo os arranjos e geometrias das moléculas apresentadas e, mais ao final, analisaram também a polaridade das moléculas e das ligações.

No Quadro 10, apresentaremos alguns exemplos da fala da professora que foram classificadas em diferentes zonas.

Quadro 10 – Zonas do perfil e falas da professora 2

Zonas do perfil de molécula	Trechos das falas
Átomos geometricamente arranjados	<p>“Molécula do tipo AB<sub>2</sub> e molécula do tipo AB<sub>3</sub>.”</p> <p>“Então pra gente prever a forma das moléculas.”</p> <p>“Então o ângulo/ por exemplo/ na molécula de amônia vai ser menor que o de 109° do arranjo.”</p>

	<p>“No metano/ qual é o ângulo que a gente espera pra essa molécula?”</p> <p>“A molécula é tetraédrica.”</p>
--	--

Fonte: autoria própria

Nessa aula, enquadrámos as falas da professora em apenas duas zonas, sendo a de átomos geometricamente arranjados a predominante. Como descrito anteriormente, o tópico da aula era o ensino da geometria molecular e, portanto, seriam esperadas falas que evidenciassem uma posição bem definida dos átomos, explicitando até mesmo a distância entre os ligantes e citando os ângulos presentes nas estruturas que estavam sendo estudadas.

Na fala em que observamos a zona substancialismo, notamos que a professora fala da água e cita características da molécula, tratando dos pares isolados. Em outras palavras, ela aborda aspectos da molécula mas, aparentemente, faz uma referência inicial à substância água. Acreditamos que, se ela tivesse dito “na molécula de água” em vez de “da água”, essa fala poderia ser classificada como zona composicionista. Nesse caso, entretanto, entendemos que ficou mais evidente o compromisso da parte (molécula) representando o todo (substância).

Notamos aqui algo que também foi refletido por Mortimer e Amaral (2014): o substancialismo talvez permaneça vivo na linguagem científica devido ao uso da linguagem de maneira irrefletida. Ou seja, nós, professores e químicos, tratamos a molécula e a substância pelo mesmo nome sem nos preocupar em explicitar quando estamos nos referindo apenas à molécula ou se estamos falando da substância. No caso do ensino, isso pode gerar modos de falar e pensar que favoreçam um entendimento equivocado das relações que podem ser estabelecidas entre as moléculas e as substâncias; assim, esses modos são apropriados e replicados também pelos estudantes.

### Aula 3 – Química Inorgânica

Nessa aula, a professora estava explicando a isomeria geométrica e óptica nos complexos. Ela fez, inicialmente, uma retomada dos tipos de isômeros que haviam sido estudados anteriormente para, então, introduzir o conteúdo da aula. Ao começar as explicações de isomeria óptica, ela fez menções à molécula e aos isômeros, sendo que

esses trechos da fala serão apresentados no Quadro 11 com as respectivas zonas que identificamos.

Durante a aula, foram cedidos cerca de 20 minutos para que os estudantes fizessem exercícios sobre o assunto tratado. Como não era nosso objetivo com a filmagem — e, portanto, não temos áudios que possibilitem transcrever todas as falas dos estudantes —, não relatamos as falas dos alunos.

Quadro 11 – Zonas do perfil e falas da professora 3

Zonas do perfil de molécula	Trechos das falas
Átomos geometricamente arranjados	<p>“Se eu girar e o cloro ficar na mesma posição?”</p> <p>“Se a molécula tem um plano de simetria ela não vai apresentar isomeria óptica.”</p> <p>“No nosso organismo muitas enzimas são quirais.”</p> <p>“A molécula/ por exemplo/ de açúcar ela é quiral.”</p> <p>“Essa molécula vai apresentar isômero óptico ou não? Não vai/ pois se eu cortar aqui/ eu tenho dois lados iguais.”</p>
Interacionista	<p>“Outra coisa que os isômeros ópticos podem apresentar atividades diferentes é se eles reagirem com um reagente óptico.”</p> <p>“A única diferença deles [isômeros] é frente à luz polarizada/ um gira a luz para um lado e o outro para outro lado.”</p>

Fonte: autoria própria

Identificamos três zonas presentes na fala dessa professora, com predominância das zonas substancialismo e átomos geometricamente arranjados. Sobre essa última, notamos que houve muitas menções visto que a professora estava tentando identificar um plano de simetria na molécula, ou seja, as moléculas analisadas teriam uma organização espacial específica que permitiria essa classificação. Nesse sentido, ela também classificava as moléculas como quirais para, posteriormente, analisar a atividade óptica.

A zona substancialismo foi observada em falas nas quais a professora fazia análise de características moleculares, mas se referia aos compostos (substâncias) conforme exemplo no Quadro 11, em que ela pergunta qual é a geometria do composto. Talvez haja uma simplificação da fala, mas isso pode gerar entendimentos equivocados e favorecer a presença da zona substancialismo na fala dos estudantes. Outro exemplo é quando ela diz que irá produzir moléculas no laboratório, quando, na verdade, o que produzimos nos laboratórios são substâncias que podem ser moleculares. Nas considerações finais dessa seção, vamos debater um pouco sobre essa linguagem que nos parece peculiar aos químicos.

A zona interacionista foi elucidada nas falas em que a professora explicou a interação dos isômeros com a luz polarizada, dizendo também que esses isômeros poderiam ser diferenciados por meio da reação com outro reagente óptico. Nesses casos, a molécula depende da interação com a luz ou com outro reagente para ser caracterizada, de modo que entendemos haver o compromisso com a interação.

#### Aula 4 – Química Inorgânica

O professor iniciou a aula dizendo que daria continuidade ao conteúdo de ligantes nos complexos e que, na aula anterior, eles haviam estudado os ligantes polidentados, sendo que nessa estudariam os ligantes bidentados e a estabilidade dos complexos. No Quadro 12, apresentaremos as falas do professor e as zonas em que as classificamos.

Quadro 12 – Zonas do perfil e falas do professor 4

Zonas do perfil de molécula	Trechos das falas
Compositorista	<p>“As proteínas são cadeias de aminoácidos. E os aminoácidos vão ter quem presente nas cadeias deles?”</p> <p>“Aqui temos anéis de cinco membros e ainda tem uma ligação de hidrogênio intramolecular neste complexo aqui.”</p>

Fonte: autoria própria

Identificamos uma fala que classificamos na zona substancialismo. Nesse caso, o professor estava relacionando a substituição de ligantes nas estruturas dos complexos com as cores que eram observadas para os compostos. Portanto, uma diferença na estrutura e nos ligantes implicaria diretamente a diferença na cor do composto, revelando o compromisso que a parte (estrutura do complexo) seria a única responsável pela cor observada na substância. Isso nos parece ser algo bem comum na fala dos professores nesses contextos, pois, de fato, trocar ligantes ocasionaria mudanças de observação macroscópicas. Essa relação, contudo, não é tão linear, já que a troca do ligante resulta em várias outras questões que, em conjunto, acarretam a mudança de cor observada para o composto que contém o complexo estudado. Podemos estabelecer uma comparação desse caso com as temperaturas de ebulição de diferentes isômeros: ao trocar um grupo na molécula, ocorre variação da temperatura de ebulição. Novamente, ressalta-se que isso não é algo linear. A troca do grupo implica vários outros aspectos que, por consequência, resultam na alteração da temperatura de ebulição.

Em uma das falas que enquadramos como zona compositorista, o professor estava ressaltando as características na estrutura do complexo que acarretavam uma maior estabilidade. Na outra fala, ele pergunta o que deve estar presente na cadeia de um aminoácido para que ele seja classificado como tal. Observamos, nesses dois casos,



o compromisso com a constituição da molécula para classificá-la ou para implicar alguma propriedade.

### **Considerações sobre as aulas analisadas**

Por meio dessas aulas, conseguimos identificar cinco zonas que compõem o perfil conceitual de molécula; não houve apenas a zona primeiros princípios. Observamos que as zonas substancialismo, átomos geometricamente arranjados e composicionista estavam presentes na fala de três dos professores observados. Acreditamos que, nas aulas analisadas, o conteúdo favorecia essas formas falar e modos de pensar sobre o conceito; por exemplo, nas aulas de geometria há uma grande preocupação com a posição e o arranjo dos átomos. Por outro lado, quando trabalhamos com uma visão mais classificatória, voltamos nosso olhar para a composição, se a molécula tem ou não certos grupos ou átomos. Por fim, ao estudar as propriedades das substâncias e buscar relacionar com as partes que as compõem, podemos, na nossa fala, abandonar a ideia do todo e remeter as propriedades às características da parte, como ocorreu no caso da cor dos compostos.

Considerando os exemplos que foram citados nas aulas, observamos que eles vão ao encontro do objetivo de formação de um químico, que deve ter uma compreensão sólida acerca dos conceitos para entender, explicar e prever o comportamento de sistemas químicos — o que foi feito professores que, para isso, buscaram estudar as estruturas e substâncias. Além disso, pensando que a química é uma ciência que se caracteriza por explicar fenômenos derivados das transformações da matéria, os professores, a todo momento, estabeleciam essas relações baseando suas explicações na existência de partículas, nas quais as alterações no arranjo ou interações entre elas provocam mudanças que podem ser observadas macroscopicamente (POZO E CRESPO, 2009).

Estabelecer relações diretas entre a molécula e a substância nos parece ser algo característico do fazer químico e, por isso, o substancialismo permanece tão presente nos modos de falar. Até mesmo por uma questão de representação, o que diferencia a molécula de água para a substância água? Os químicos certamente deverão estar pensando no estado físico que representamos juntamente à fórmula molecular. Então, por convenção,  $H_2O$  representa a molécula de água e  $H_2O (L)$  representa a substância

água líquida. Porém, muito comumente, usamos de maneira indistinta as duas representações ao ensinar ou ao tratar sobre o assunto. Segundo Mortimer (1996), “dizemos que a fórmula da água é  $H_2O$  dessa maneira — simplesmente por duas letras e um número —, temos a sensação de nos apropriarmos da própria essência da água”. O autor ainda discute sobre como fazemos uma simplificação da substância ao atribuímos uma fórmula tão simples a algo tão complexo quanto a substância. Talvez seja nesses momentos que nós, professores, transpomos essa simplicidade e estabelecemos relações lineares entre a molécula e a substância e, então, perpetuamos esse modo de pensar substancialista.

Acreditamos, ainda, que determinados conteúdos abordados nas aulas podem favorecer o surgimento de algumas zonas do perfil. Como este trabalho tem por objetivo identificar as diferentes zonas nos domínios analisados, acreditamos que as aulas examinadas foram suficientes uma vez que evidenciaram cinco zonas distintas. Porém, se quiséssemos fazer um trabalho mais detalhado de como os diferentes conteúdos podem influenciar nas diferentes zonas, teríamos que abarcar disciplinas de diversas subáreas da química e fazer uma quantificação das zonas que surgem em cada uma delas.

Outra proposta interessante seria, em uma mesma aula, tentar evidenciar as diferentes formas de falar e modos de pensar sobre a molécula. Com isso, os estudantes poderiam perceber que, para problemas diferentes, podemos demandar distintas formas de expressar o conceito, a fim de encontrarmos uma resposta mais adequada. Um modelo dessa proposta foi executado por nós nessa pesquisa e será apresentado no capítulo 6.

#### 5.4 Análise do questionário

Foram analisados 75 (setenta e cinco) questionários aplicados em três disciplinas diferentes no curso de graduação em Química da UFMG. Dentre as disciplinas e as modalidades dos cursos ofertados nas turmas aplicadas, estavam:

- Química Geral C – Disciplina ofertada para o primeiro período (bacharelado e licenciatura);
- Química Inorgânica C I – Disciplina ofertada para o segundo período (licenciatura);
- Introdução à Estrutura da Matéria – Disciplina ofertada para o quinto período (licenciatura) ou sexto período (tecnológico).

Essas disciplinas foram escolhidas considerando que elas fariam uma abordagem mais explícita do conceito de molécula, tendo em vista a área de domínio e os conteúdos programáticos abordados.

Desses 75 questionários, 39 foram aplicados na turma de Química Geral, 23 na de Inorgânica e 13 na de Introdução à Estrutura da Matéria. Como relatado acima, a disciplina Introdução à Estrutura da Matéria corresponde a períodos mais avançados no curso e o número de estudantes regulares diminui significativamente<sup>3</sup>, portanto, temos um número menor de questionários respondidos. Ademais, apesar de ela ser ofertada regularmente para o quinto e sexto períodos, comumente os alunos matriculados são registrados em períodos cronológicos mais avançados no curso devido aos atrasos que ocorrem ao longo da graduação em Química, como mostram os dados preenchidos nos questionários.

Todos os questionários respondidos foram analisados buscando identificar as diferentes formas de falar e modos de pensar sobre o conceito de molécula frente aos

---

<sup>3</sup> Dados divulgados pelo INEP em 2017, na sinopse do ensino superior, mostram a grande evasão nas licenciaturas no Brasil. Acreditamos que o número de estudantes matriculados nas disciplinas analisadas mais ao final do curso sejam bem menores que os matriculados nas disciplinas iniciais devido a essa evasão.

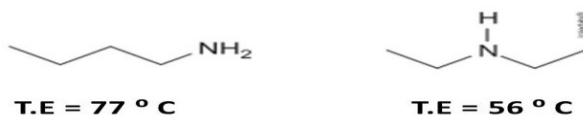
problemas propostos em algumas questões e às definições que foram solicitadas em outras.

Inicialmente, apresentaremos o questionário completo com as respostas esperadas para cada questão e as zonas que estimávamos que as questões promovessem. Como o questionário foi produzido para a coleta dos primeiros dados de pesquisa, no momento da produção ainda nos baseávamos no perfil conceitual composto pelas quatro zonas definidas por Mortimer e Amaral (2014). Por isso, essa apresentação inicial será feita apenas com as quatro zonas. Não podemos incluir as seis zonas como zonas esperadas para as questões propostas pois entendemos que elas podem não contemplar essa expectativa, já que, com a nova visão do perfil, o ideal seria que pensássemos em um programa com novas questões que delimitassem exatamente as novas zonas.

Porém, no exame dos questionários, julgamos pertinente apresentar os dados com a análise que foi refeita e baseada no novo perfil conceitual, uma vez que esses dados confirmaram e consolidaram os nossos direcionamentos para as novas zonas.

#### 5.4.1 - Questionário com as respostas e zonas esperadas para cada questão

**Q1)** As aminas pertencem a uma classe de moléculas orgânicas que, em muitos casos, possuem aplicação biológica. Abaixo, são apresentados exemplos dessas substâncias que, rotineiramente, são encontradas nos laboratórios de química.



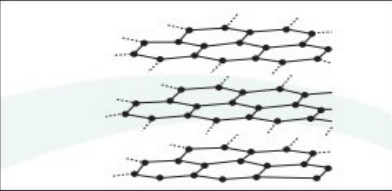
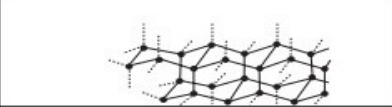

Apesar de serem constituídas pelo mesmo tipo e número de átomos, essas duas substâncias são diferentes. Como você explicaria a diferença nas temperaturas de ebulição tendo em vista as estruturas das moléculas apresentadas?

**R:** Aminas primárias possuem maior temperatura de ebulição quando

comparadas a aminas secundárias com cadeias carbônicas semelhantes. Isso ocorre devido à maior polaridade da molécula de amina primária e ao maior número de pontos possíveis para que sejam estabelecidas interações intermoleculares do tipo ligação de hidrogênio.

**Zona(s) esperada(s): substancialismo e átomos geometricamente arranjados.**

**Q2)** O carbono é um elemento cujos átomos podem se organizar sob a forma de diferentes alótropos, conforme indicado na figura a seguir.

Alótropos	Estrutura
Grafita <sub>(c)</sub>	
Diamante <sub>(c)</sub>	
Fulereno <sub>(C60)</sub>	

a) É possível escolher um solvente adequado e, nele, dissolver o fulereno sólido, mas não é possível preparar uma solução de diamante ou de grafita, qualquer que seja o solvente testado. Considerando as estruturas dos sólidos, JUSTIFIQUE porque é possível solubilizar o fulereno, mas não é possível solubilizar diamante e grafite.

**R:** O fulereno é um sólido molecular, ao passo que a grafite e o diamante são sólidos covalentes. No primeiro, as unidades estruturais são moléculas C<sub>60</sub> ligadas umas às outras por interações dipolo induzido-dipolo instantâneo, que podem ser rompidas pela ação de um solvente apolar. Já a dissolução dos outros envolveria a ruptura de ligações químicas muito mais intensas entre os átomos de carbono da grafite ou do diamante, ligações essas do tipo covalente, o que demandaria absorção de significativa quantidade de energia e inviabilizaria o processo de dissolução.

**Zona(s) esperada(s): substancialismo, átomos geometricamente arranjados e química moderna.**

- b) Grafite e fulereno são sólidos pretos. Diamante é transparente. Como você poderia explicar essas diferenças?

**R: A organização estrutural desses materiais é diferente, portanto, as absorções e reflexões serão distintas. Dessa maneira, observaremos cores diferentes.**

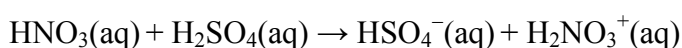
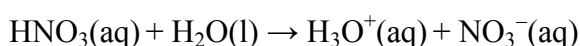
**Zona(s) esperada(s): átomos geometricamente arranjados e química moderna.**

- c) Como você explica o fato de o diamante ser um sólido com alta dureza e o grafite poder ser usado para escrever?

**R: O diamante possui sua estrutura mantida somente por ligações covalentes. Na grafite, além das ligações covalentes que existem entre os carbonos, há interações que ocorrem entre as placas de sua estrutura, interações essas menos intensas e que permitem que as placas deslizem, possibilitando, assim, escrever.**

**Zona(s) esperada(s): átomos geometricamente arranjados e química moderna.**

**Q3)** Abaixo podem ser observadas equações que representam o comportamento do ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) frente à água e frente ao ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), respectivamente.



Após observar as equações, o que você poderia dizer sobre o comportamento ácido-base do ácido nítrico frente a essas duas substâncias? Explique.

**R:** Na primeira reação, o ácido nítrico se comporta como ácido de Bronsted-Lowry pois doa o  $H^+$  para a água, ou seja, apresenta um caráter ácido maior que o da água. Na segunda reação, o ácido nítrico se comportou como base de Bronsted-Lowry pois recebeu o  $H^+$  doado pelo ácido sulfúrico.

**Zona(s) esperada(s):** química moderna.

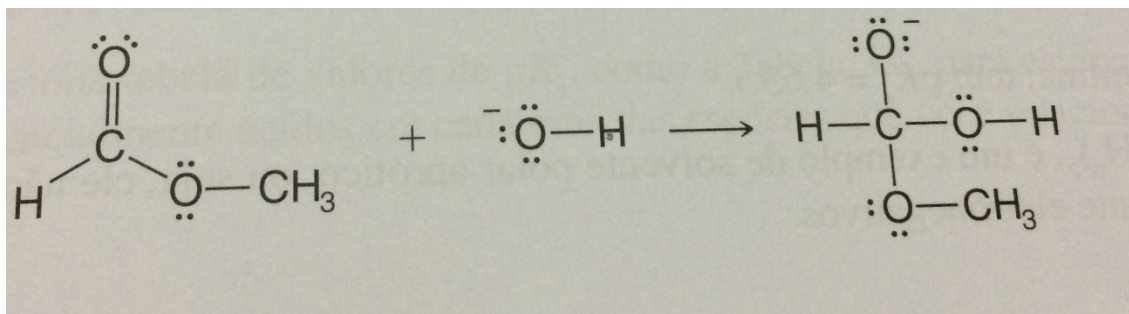
**Q4)** Polímeros são macromoléculas formadas por unidades estruturais denominadas monômeros. Polímeros condutores têm atraído a atenção de vários pesquisadores. Estes materiais combinam propriedades típicas de plásticos com propriedades ópticas e elétricas de metais. Como você poderia explicar o fato de essas macromoléculas conduzirem corrente elétrica?

**R1:** A condutividade em polímeros pode ser explicada através do “modelo de bandas”. A interação da cela unitária com todos os seus vizinhos leva à formação de bandas eletrônicas, onde os níveis ocupados de maior energia são a banda de valência e os níveis vazios de menor energia são a banda de condução. Essas duas bandas estão separadas por uma faixa de energia chamada de “bandgap”, que determina as propriedades elétricas intrínsecas ao material.

**R2:** Outra explicação esperada seria que os polímeros condutores são formados por cadeias contendo duplas ligações  $C=C$  conjugadas, permitindo o fluxo de elétrons em condições específicas.

**Zona(s) esperada(s):** química moderna.

**Q5)** Demonstre o mecanismo que permitiu a obtenção do produto nesta etapa reação abaixo, a partir dos reagentes indicados.



**R:** Por meio de setas curvas, os alunos deveriam mostrar o ataque do grupo  $\text{OH}^-$  ao carbono da carbonila. Simultaneamente, deveriam representar o deslocamento dos elétrons da dupla ligação na carbonila para o átomo de oxigênio. Nessa etapa da reação, o grupo  $\text{OH}^-$  ataca o carbono da carbonila, que possui maior caráter positivo na cadeia. Consequentemente, os elétrons da dupla ligação entre o carbono e oxigênio da carbonila são deslocados para o oxigênio, que passa a ter carga negativa.

**Zona(s) esperada(s):** átomos geometricamente arranjados e química moderna.

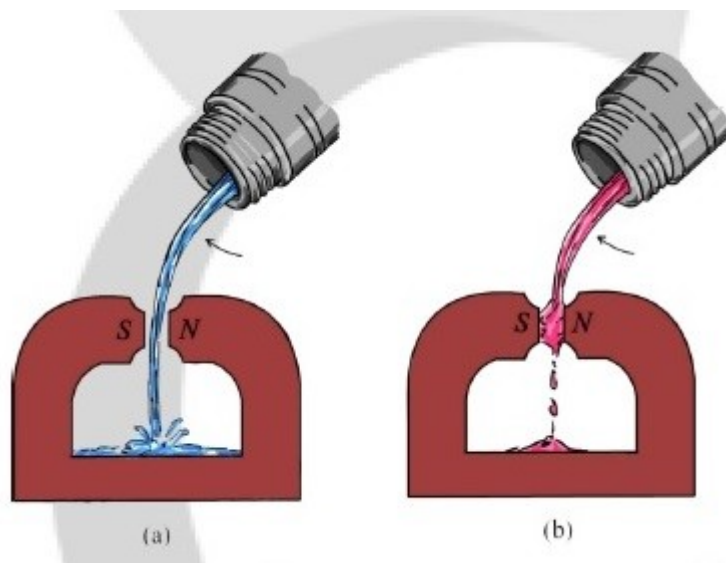
**Q6) a)** Se você fizesse uma previsão do comportamento magnético dos líquidos oxigênio e nitrogênio, segundo o modelo de Lewis e da teoria de Ligação de Valência, o que poderia ser dito?

**R:** Na estrutura de Lewis do  $\text{O}_2$  e  $\text{N}_2$ , todos os elétrons estão emparelhados. Dessa forma, nós os classificamos como diamagnético.

**Zona(s) esperada(s):** química moderna.

Abaixo se tem ilustrações que representam, respectivamente, nitrogênio (indicado por “a”) e oxigênio (indicado por “b”) líquidos, sendo passados por um imã.  
b) Como você poderia explicar a diferença observada para o comportamento de cada um dos líquidos, baseando-se na teoria dos orbitais moleculares?

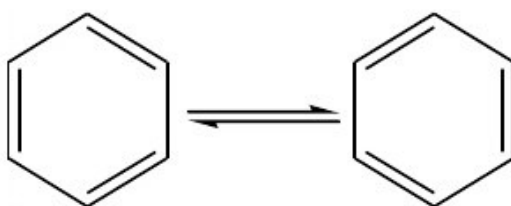




**R:** As propriedades paramagnéticas do oxigênio se evidenciam quando o oxigênio líquido é colocado entre os polos de um magneto. O líquido prende-se ao magneto em vez de fluir. Nesse caso, fica evidenciado pela observação que  $O_2$  é paramagnético e tem elétrons desemparelhados, enquanto o  $N_2$  é diamagnético e não tem elétrons desemparelhados.

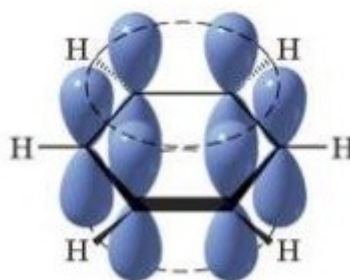
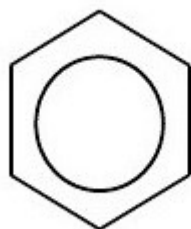
**Zona(s) esperada(s):** química moderna.

**Q7)** a) Represente a estrutura do benzeno, usando diferentes estruturas de ressonância.



**R:**

b) Represente a estrutura do benzeno, na qual a deslocalização dos elétrons  $\pi$  apareça como consequência natural da formação de uma nuvem eletrônica acima e abaixo do plano da molécula.



**R:**

c) Quais as semelhanças e diferenças entre as representações feitas na letra a) e b)?

**R:** As semelhanças são os números de átomos e elétrons representados. A diferença é que no item “b” há uma estrutura que representa o híbrido de ressonância, ou seja, a deslocalização dos elétrons na nuvem eletrônica que é formada pela sobreposição dos orbitais  $p$  perpendiculares ao anel formado pelos carbonos.

**Zona(s) esperada(s):** átomos geometricamente arranjados e química moderna.

**Q8)** Quando dissolvemos um comprimido de antiácido, do tipo Sonrisal®, em água, acontece uma reação ácido-base entre ácido cítrico e bicarbonato de sódio, ambos oriundos do comprimido. Essa reação tem duas etapas: i) a formação do ácido carbônico e ii) a decomposição do ácido carbônico formando gás carbônico e água. Explique porque a primeira etapa é rápida e a segunda é lenta.

**R:** A etapa 1 de formação do ácido ocorre com uma reação entre um sal de caráter básico (bicarbonato de sódio) e um ácido (ácido cítrico) presentes no comprimido, que, quando colocados em contato com água, solubilizam-se e entram em contato um com o outro, gerando, portanto, reações caracteristicamente rápidas do tipo ácido-base. Na etapa 2 ocorre uma reação de decomposição do ácido, e as reações de decomposição são mais lentas, mas, nesse caso, mesmo a etapa 2 ocorre de maneira mais rápida devido à instabilidade do ácido formado — ácido carbônico — na presença de água.

**Zona(s) esperada(s): química moderna.**

**Q9) Qual é a definição de molécula?**

Todo material é constituído por moléculas? Justifique sua resposta.

**R1: Moléculas são entidades constituídas por átomos, com número determinado e organização definida, ligados covalentemente entre si.**

**Zona(s) esperada(s): átomos geometricamente arranjados.**

**R2: Moléculas são entidades formadas pela sobreposição de orbitais atômicos dos átomos que as constituem e originam orbitais moleculares. Essas moléculas interagem entre si para formar as substâncias moleculares.**

**Zona(s) esperada(s): química moderna.**

**R3: Moléculas são substâncias constituídas por átomos.**

**Zona(s) esperada(s): substancialismo.**

**R: Nem todo material é constituído por moléculas, visto que temos materiais que não possuem átomos ligados covalentemente entre si formando entidades que se interagem.**

**Zona(s) esperada(s): todas.**

### 5.4.2 - A análise das questões

Vamos apresentar a análise de cada questão com as respostas dadas pelos estudantes, que já enquadrámos, inclusive, nas seis zonas do novo perfil conceitual de molécula. Como tínhamos respostas esperadas, faremos uma comparação de maneira geral dos dados obtidos com o que era previsto para cada questão. Nos modos de falar que apresentaremos, vamos identificar os alunos pela letra A seguida de um número de 1 a 75 — A1 a A13 são alunos da turma de Introdução à Estrutura da Matéria (E.M), A14 a A36 são da turma de Química Inorgânica (Q.I) e A37 a A75 são da turma de Química Geral (Q.G)

#### Questão 1

A questão número 1 trazia a fórmula estrutural de duas aminas isoméricas e solicitava explicações sobre a diferença nas temperaturas de ebulição das substâncias. Tivemos nas respostas a presença das zonas átomos geometricamente arranjados, substancialismo, composicionista e interacionista. A seguir, apresentaremos no Quadro 13 os trechos de respostas que foram dadas e as zonas nas quais os enquadrámos.

Quadro 13 – Zonas e trechos identificados na questão 1

Zonas do perfil de molécula	Trechos das respostas
Átomos geometricamente arranjados	“A diferença da temperatura de ebulição é decorrente da forma estrutural [...]” A42 (Q.G)
Composicionista	“A primeira apresenta maior temperatura de ebulição, pois apresenta NH <sub>2</sub> em uma de suas extremidades.” A45 (Q.G)
Interacionista	“A interação da cadeia carbônica, o empacotamento dela será mais estável, apresentado maior

	<p>interação de Van der Walls.” A9 (E.M)</p> <p>“A diferença está na força das interações intermoleculares entre essas moléculas. Em A há mais ligações de hidrogênio e em B há menos.” A5 (E.M)</p>
<p>Híbrida - átomos geometricamente arranjados e interacionista</p>	<p>“As substâncias têm ponto de ebulição distintos por causa que a força das ligações são diferentes (<i>sic</i>), uma vez que mesmo a quantidade e tipo de átomo sendo iguais, suas estruturas são diferentes.” A64 (Q.G)</p> <p>“A diferença nas temperaturas de ebulição pode ser explicada pelo fato de que a presença de grupos funcionais contribui para o aumento da T.E., uma vez que eles tornam mais difícil a quebra da molécula.” A50 (Q.G)</p>

Fonte: autoria própria

A zona substancialismo foi observada nas respostas que apresentavam a molécula como tendo maior temperatura de ebulição, não a substância, como estava sendo solicitado na pergunta. Isso evidencia a ideia de que a molécula tem as características do todo (substância) e, portanto, as diferenças de temperatura poderiam ser justificadas pelas características da molécula isolada.

A zona átomos geometricamente arranjados apresentou a ideia de que a posição dos átomos e a forma estrutural da molécula seriam a justificativa para as diferenças das temperaturas de ebulição.

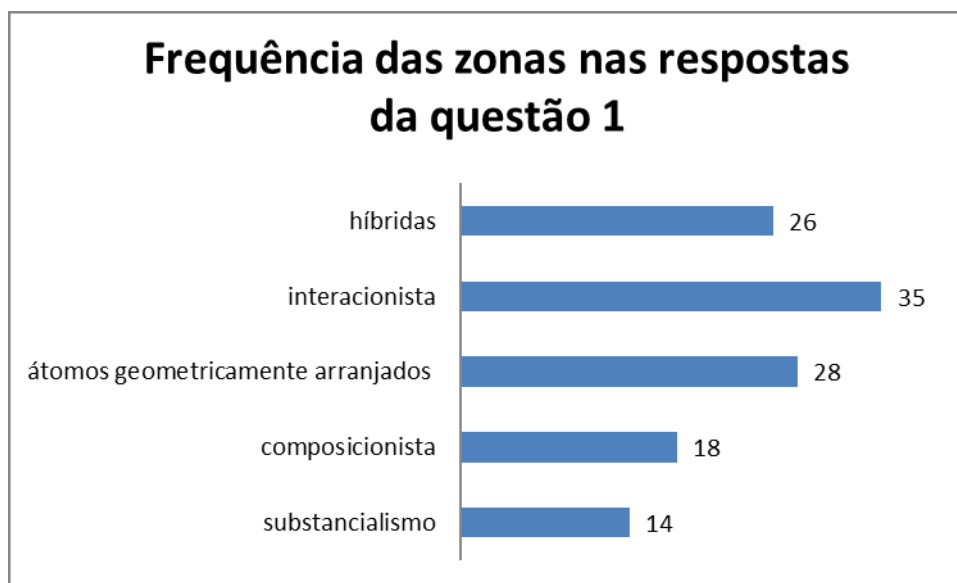
Foram observadas, também, respostas em que os estudantes atribuíam as diferenças de temperaturas de ebulição aos grupos funcionais ou a átomos específicos que constituíam a molécula, o que nos levou a enquadrá-las na zona composicionista.

Surgiram, nessa questão, modos de falar evidenciados pelas respostas em que a justificativa usada pelos estudantes era baseada nas interações entre as moléculas para diferenciar as temperaturas de ebulição. Nesse caso, o compromisso epistemológico não está associado à molécula em si, mas à interação que a molécula pode estabelecer com outra, gerando forças mais intensas ou menos intensas. Portanto, classificamos tais respostas na zona interacionista.

Se levarmos em consideração esses modos de falar, observamos, ainda, respostas híbridas dos estudantes A64 e A50. Isso porque, além de considerarem as estruturas diferentes, eles falam também da interação (quebra), reforçando o seu compromisso.

Conseguimos identificar quatro zonas nessa questão: duas que eram esperadas na proposta e duas novas. Se o questionário fosse produzido após o estabelecimento das seis zonas, acreditamos que as quatro zonas aqui identificadas seriam esperadas, tendo em vista que os compromissos identificados nos dados são muito usuais em respostas quimicamente desejadas para problemas semelhantes ao proposto na questão. Por exemplo, houve uso frequente de compromissos da zona interacionista uma vez que a questão envolve explicações de temperatura de ebulição e, assim, faz-se necessário pensar nas interações que as moléculas estabelecem e rompem. No Gráfico 1, podemos observar a frequência das zonas para essa questão.

Gráfico 1 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 1



Fonte: autoria própria

Observamos um grande número de respostas híbridas<sup>4</sup> nessa questão. Parece-nos que, para explicar as diferenças entre as temperaturas de ebulição, um grande número de estudantes — além de usar a justificativa das interações entre as moléculas — utiliza compromissos como a composição da molécula e a organização dos átomos nela. Dessa forma, notamos a maior frequência nas zonas interacionista e átomos geometricamente arranjados, além de respostas que utilizaram ambas na mesma explicação.

## Questão 2

A questão 2 era constituída de itens “a”, “b” e “c”, que foram analisados separadamente. Essa questão trazia um quadro mostrando a estrutura dos alótropos de carbono — diamante, grafite e fulereno —, e os itens propostos perguntavam sobre solubilidade, cores dos compostos e dureza dos sólidos, respectivamente.

---

<sup>4</sup> As respostas incluídas como híbridas se sobrepõem, em frequência, àquelas contabilizadas de maneira individual nas diferentes zonas. Isso acontece pois as respostas híbridas ocorrem entre diferentes zonas, e não seria viável, para apresentação dos dados, indicar todas as combinações distintas possíveis em cada caso.

**Item “a”**

Nesse item, era solicitada uma justificativa para a solubilidade do fulereno — em um solvente adequado — em comparação com a não solubilidade da grafite e diamante. Conseguimos identificar quatro zonas. No Quadro 14, apresentaremos exemplos de respostas para cada zona nesses itens.

Quadro 14 – Zonas e trechos identificados na questão 2, item “a”

<b>Zonas do perfil de molécula</b>	<b>Trechos das respostas</b>
Interacionista	<p>“Devido ao tipo de interação intermolecular.” A12 (E.M)</p> <p>“No grafite (<i>sic</i>) as interações intermoleculares são mais fortes que do fulereno [...]” A52 (Q.G)</p>
Composicionista	<p>“O fulereno é uma substância composta por moléculas, logo é possível ter os estados sólidos, líquido e gasoso. Mesmo que em condições especiais. Já o grafite (<i>sic</i>) e o diamante são sólidos covalentes e não apresentam moléculas, são átomos de carbono ligados a carbonos, assim não é possível isolar uma unidade mínima.” A6 (E.M)</p>
Híbrida – molécula moderna e interacionista	<p>“No caso do diamante e do fulereno, o que se tem são interações entre os orbitais dos átomos de carbono, o que é equivalente, em força, às ligações químicas.” A2 (E.M)</p>
Híbrida – composicionista e interacionista	<p>“O diamante e o grafite (<i>sic</i>) possuem uma rede cristalina muito grande, sustentada por ligações</p>



	<p>covalentes. Isso faz com que não existam seções suficientemente pequenas desses sólidos para serem solubilizadas sem que haja rompimento das ligações covalentes e, portanto, alterações da composição das espécies químicas. Já o fulereno é uma molécula que, mesmo que grande, ainda é possível ser envolvida por um solvente de forma a mantê-la estável em soluções, sem precisar que ligações covalentes sejam rompidas.” A48 (Q.G)</p>
--	--

Fonte: autoria própria

Nesse item, observamos respostas que justificavam a solubilidade do fulereno com a estrutura e arranjo dos átomos, evidenciando, nesses casos, a noção dos átomos geometricamente arranjados. Tivemos uma resposta que remetia à noção de orbital do átomo, de forma que a classificamos na zona da molécula moderna.

Diversas respostas fizeram menção às interações que ocorrem entre as moléculas de fulereno e do solvente, que caracterizariam a solubilidade. Novamente, o foco eram as interações que permitiriam, agora, a solubilização, evidenciando compromissos da zona interacionista.

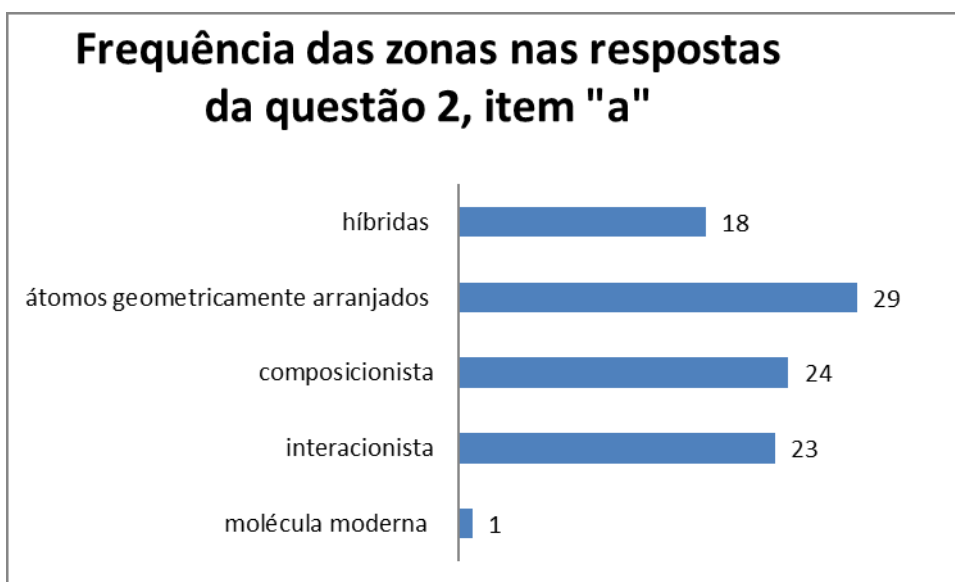
Nesse item, a zona composicionista foi identificada em respostas que traziam características da composição das substâncias para diferenciar suas solubilidades. Nessas respostas, o compromisso revelado era com algo que constituía as substâncias.

A zona substancialismo, embora esperada, não foi identificada. Não tivemos respostas em que os estudantes falavam de solubilidade se referindo à molécula isoladamente.

Na resposta A48 temos um exemplo de resposta híbrida, uma vez que a justificativa, além de falar da rede cristalina, aborda também o rompimento de ligações

covalentes, ou seja, a modificação do composto devido à desconstrução dessa interação química — zona interacionista. No Gráfico 2, podemos observar que tivemos dezoito respostas híbridas.

Gráfico 2 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 2, item “a”



Fonte: autoria própria

Novamente, observamos um elevado número de respostas híbridas que correlacionam as zonas de maior frequência. Tendo em vista o item da questão, observamos que os estudantes, ao explicar a solubilidade, justificavam as interações estabelecidas em função da estrutura e da composição do soluto e do solvente.

### Item “b”

Nesse item, no qual era solicitada a diferenciação entre as cores observadas para os compostos apresentados, identificamos cinco zonas e, entre elas, houve uma predominância da interacionista e átomos geometricamente arranjados. As zonas substancialismo, molécula moderna e composicionista apareceram em apenas sete respostas. No Quadro 15, apontaremos alguns exemplos de respostas.

Quadro 15 – Zonas e trechos identificados na questão 2, item “b”

Zonas do perfil de molécula	Trechos das respostas
Átomos geometricamente arranjados	“Diferenças físicas são devido ( <i>sic</i> ) à organização dos átomos de C nas moléculas.” A3 (E.M)
Interacionista	“O diamante reflete a luz, já o grafite ( <i>sic</i> ) e fulereno absorvem.” A10 (E.M)
Composicionista	“A diferença de coloração entre o grafite ( <i>sic</i> ), fulereno e o diamante, se dá pela diferença na composição molecular.” A63 (Q.G)
Molécula moderna	“Essa diferença está nos orbitais ‘d’ localizados na região ultravioleta.” A27 (Q.I)
Híbrida - átomos geometricamente arranjados e interacionista	“A cor transparente do diamante, em contraste com o preto da grafita e do fulereno, pode ser explicada pelo arranjo tetraédrico de seus átomos, que permite que a luz os atravesse, enquanto nos outros compostos a luz é absorvida.” A51 (Q.G)

Fonte: autoria própria

No exemplo de resposta para a zona substancialismo, fica evidente o compromisso de que uma característica submicroscópica teria uma implicação direta nas diferenças macroscópicas. Nesse caso, a diferença de cor dos compostos poderia ser explicada pelas ligações presentes, ou seja, se um composto tem um determinado tipo de ligação, ele teria determinada cor. No próprio exemplo dado na questão isso já seria contraditório, pois diamante e grafite são ambos constituídos por ligações covalentes e apresentam cores diferentes. Então, o tipo de ligação, por si só, não justificaria a cor observada para o composto.

Na zona átomos geometricamente arranjados, novamente foi retomado o compromisso da organização dos átomos para justificar algumas características da substância.

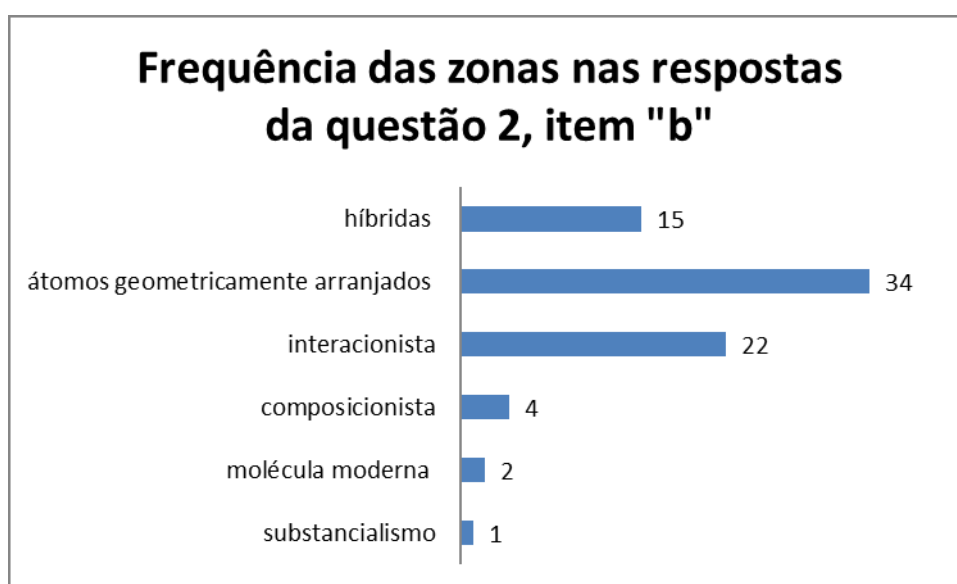
Para a zona molécula moderna, tivemos uma resposta que justificava a diferença de cores devido aos orbitais “d”, ou seja, esse estudante utilizou conceitos relacionados com a química moderna pra conseguir explicar a diferença de cores.

Na zona interacionista, a resposta remete a interações das substâncias com a luz, e isso justifica a diferença das cores observadas.

Na zona composicionista, novamente observamos o compromisso com a composição da molécula, mas, agora, para apresentar explicações para a diferença de cor.

As zonas esperadas nessa resposta eram átomos geometricamente arranjados e química moderna. Podemos observar no Gráfico 3 que houve uma frequência maior da zona átomos geometricamente arranjados e da interacionista que, no caso, reflete um compromisso que antes estava vinculado à química moderna.

Gráfico 3 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 2, item “b”



Fonte: autoria própria

Nesse item, o grande número de respostas híbridas reflete o uso de formas de falar que levam em consideração a estrutura dos compostos e como isso implica a interação deles com luz, resultando, então, na diferença de cores.

### Item “c”

Nesse item, no qual foi solicitada explicação sobre a dureza dos sólidos, elucidamos quatro zonas, embora, novamente, tenham predominado nas respostas as zonas átomos geometricamente arranjados e a interacionista. No Quadro 16, apresentaremos os exemplos de respostas para cada zona.

Quadro 16 – Zonas e trechos identificados na questão 2, item “c”

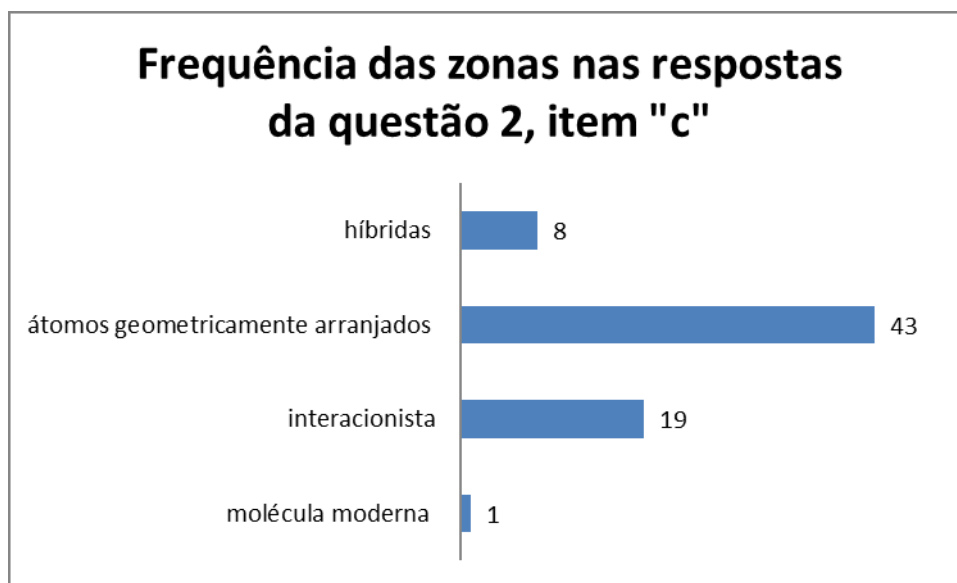
Zonas do perfil de molécula	Trechos das respostas
Interacionista	“A grafite é feita por placas que aderem entre si por forças intermoleculares, mais especificamente por dipolo induzido, enquanto o diamante ‘se adere’ por ligações químicas C – C.” A71 (Q.G)
Híbrida – átomos geometricamente arranjados e molécula moderna	“O grafite é mais maleável do que o diamante ( <i>sic</i> ), pois no seu arranjo os elétrons conseguem transitar entre os prótons com maior facilidade.” A34 (Q.I)

Fonte: autoria própria

Nessa pergunta, observamos uma retomada dos compromissos utilizados no item anterior para cada zona. Na zona átomos geometricamente arranjados, há a retomada da noção de estrutura bem organizada; na interacionista, da noção de interação entre placas da grafite; na molécula moderna, de conteúdos de química moderna — nesse caso, falando de mobilidade eletrônica.

Observamos no trecho da resposta do A34 mais uma resposta híbrida, pois o estudante justifica a transição de elétrons (molécula moderna) com o arranjo presente no composto — parte essa que remete à zona átomos geometricamente arranjados. No Gráfico 4, observaremos um menor número de respostas híbridas.

Gráfico 4 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 2, item “c”



Fonte: autoria própria

As zonas mais frequentes foram a átomos geometricamente arranjados e a interacionista, o que vai ao encontro do que era esperado para a questão uma vez que, na proposição do questionário, a zona química moderna englobava as questões de interações e ligações. Nesse item, a maioria dos estudantes respondeu alegando diferenças nas estruturas das espécies em questão.

### Questão 3

Nessa questão, buscamos ressaltar o comportamento ácido-base do ácido nítrico e observamos nas respostas apenas duas zonas: interacionista e composicionista. No Quadro 17, apresentaremos alguns exemplos de respostas.

Quadro 17 – Zonas e trechos identificados na questão 3

Zonas do perfil de molécula	Trechos das respostas
Composicionista	“O HNO <sub>3</sub> é um ácido mais forte que a H <sub>2</sub> O por ter mais átomos eletronegativos retirando elétrons do H. Já na outra reação, o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , é um ácido mais forte, logo o HNO <sub>3</sub> como base ( <i>sic</i> ).” A5 (E.M)
Híbrida – composicionista e interacionista	“O HNO <sub>3</sub> tem comportamento ácido em ambos os casos. Porém na água ele dilui-se e no ácido sulfúrico ele formou outros compostos, mas a solução continuou com caráter ácido.” A66 (Q.G)

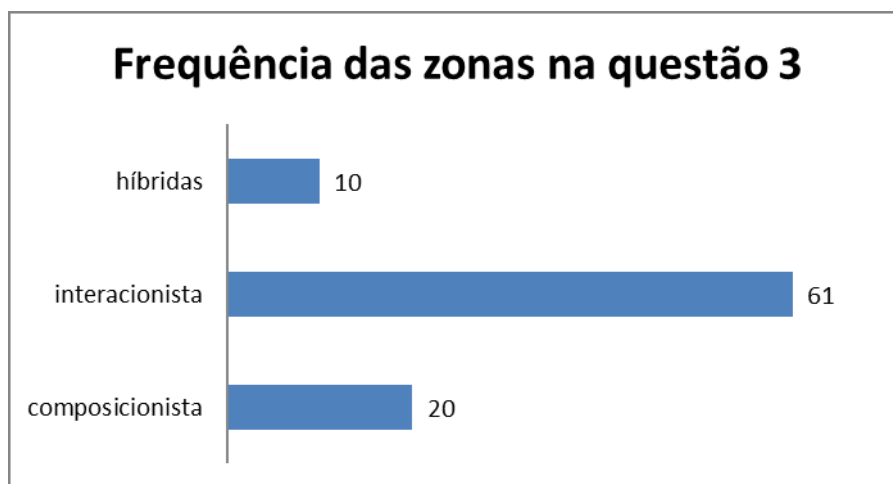
Fonte: autoria própria

Na resposta para zona interacionista, observamos o compromisso relacional — ou seja, para definir o caráter ácido ou básico é necessário pensar nas interações que a substância analisada vai estabelecer com a água e com o ácido sulfúrico. Portanto, classificamos as respostas como esse mesmo compromisso na zona interacionista.

Já na composicionista, incluímos respostas nas quais os estudantes afirmavam que o caráter ácido ou básico é algo associado às substâncias e às características que elas possuem. Em outras palavras, uma substância é classificada como ácido independentemente do meio em que está, uma vez que ela tem determinado caráter e possui certos átomos.

Tivemos um significativo número de respostas híbridas que vinculavam as duas zonas apresentadas nessa resposta. Como no modelo, essas respostas, além de citarem características que seriam inerentes aos ácidos apresentados, exprimiam justificativas de solubilidade ou interação na reação entre os participantes. A frequência pode ser observada no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 3



Fonte: autoria própria

Nessa questão, havíamos colocado como zona esperada a química moderna. Se observarmos, houve a maior frequência na interacionista — que, voltamos a lembrar, é uma nova zona delimitada por alguns compromissos que se enquadravam de maneira genérica na zona esperada.

#### Questão 4

Nessa questão, foi solicitada uma explicação para a condução de corrente elétrica pelos polímeros condutores. Foi possível identificar três zonas: átomos geometricamente arranjados, molécula moderna e composicionista. No Quadro 18, estão os exemplos de respostas para cada zona.

Quadro 18 – Zonas e trechos identificados na questão 4

Zonas do perfil de molécula	Trechos das respostas
Molécula moderna	“O fato dos polímeros conduzirem corrente diz respeito a banda de energia na qual os condutores conseguem transferir elétrons da parte com elétrons para a parte que não possui elétrons. Nessa transferência constante há a condução de corrente.”



	A21 (Q.I)
Compositorista	“Para uma substância conduzir corrente elétrica ela deve apresentar elétrons livres em seu meio ou ter uma configuração eletrônica que permita a transição dos elétrons de um nível para outro.” A25 (Q.I)
Híbrida – compositorista e molécula moderna	“Porque existem elétrons livres nas macromoléculas.” A15 (Q.I)

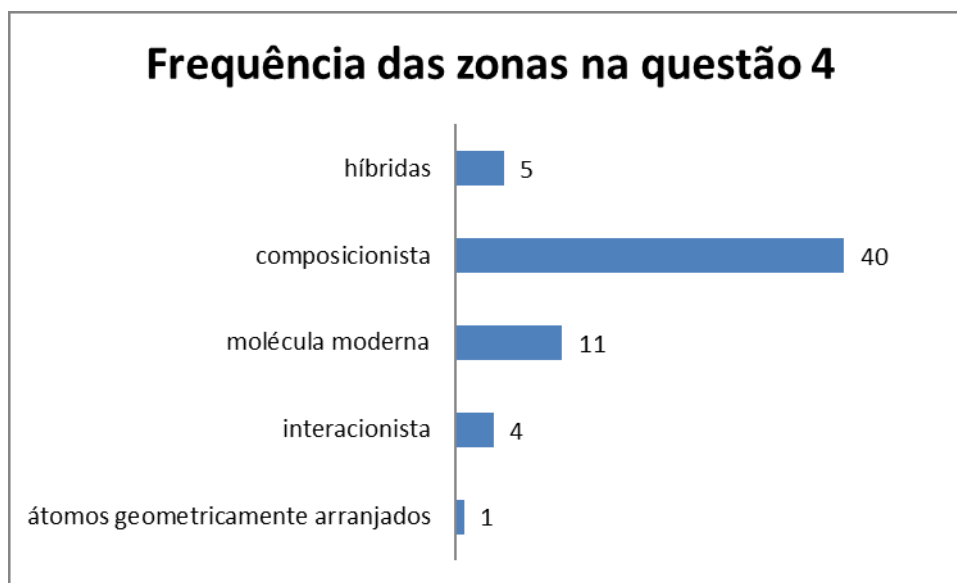
Fonte: autoria própria

A condução de corrente foi explicada de três formas distintas nesse item: I) pela organização estrutural; II) pela transição de elétrons em bandas de energia ou usando o termo ressonância; III) a molécula possui determinadas características que fazem com que a substância conduza.

Nesse sentido, observamos os compromissos sendo retomados em cada zona: na zona átomos geometricamente arranjados, a referência ao arranjo e à estrutura da molécula; na molécula moderna, a retomada dos conceitos de química moderna; na compositorista, a molécula sendo constituída de partículas que acarretam as propriedades.

Apresentamos um exemplo de resposta híbrida que citou algo que as macromoléculas têm — zona compositorista —, mas esse algo, que são os elétrons livres, remete à molécula moderna. No Gráfico 6, podemos observar que a zona compositorista foi a mais frequente nessa questão.

Gráfico 6 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 4



Fonte: autoria própria

Nessa questão, a zona mais frequente foi a composicionista, e esperávamos respostas na zona anterior (química moderna). Na resposta esperada, pressupunhamos justificativas de moléculas polinucleares com regiões que permitem movimentações de elétrons e o fenômeno da ressonância. Porém, a maioria dos estudantes justificava que a condutividade do polímero está atribuída ao fato de ele possuir átomos ou ligações que permitem que ela aconteça, ou seja, não há um detalhamento explicitando como ela ocorre, e acreditamos que, por isso, não tenham surgido compromissos da zona molécula moderna.

### Questão 5

A questão cinco não foi analisada pois os estudantes apenas desenharam estruturas e não apresentaram explicações para o mecanismo proposto. Dessa forma, não foi possível identificar zonas baseadas nas respostas dadas.

### Questão 6

Nessa questão, buscamos identificar as zonas por meio de um problema que poderia ser resolvido por diferentes teorias. No item “a”, pedimos explicações baseadas

no modelo de Lewis e na teoria de ligação de valência; no item “b”, a explicação deveria ser baseada na teoria dos orbitais moleculares. Nos Quadros 19 e 20, apresentaremos exemplos de respostas para cada item.

### Item “a”

Nesse item, as respostas incluíram três zonas: molécula moderna, interacionista e composicionista.

Quadro 19 – Zonas e trechos identificados na questão 6, item “a”

Zonas do perfil de molécula	Trechos das respostas
Interacionista	“Eles seriam extremamente instáveis e suas ligações facilmente quebradas, originando outros compostos e reagindo com várias outras substâncias.” A65 (Q.G)
Composicionista	“Os elétrons podem preencher as camadas e emparelhar-se gerando ligações químicas. Com isso não teria elétrons livres e não teria comportamento magnético.” A5 (E.M)
Híbrida – composicionista e molécula moderna	“Se fosse feita uma previsão quanto ao comportamento magnético do oxigênio e nitrogênio líquidos, ambos seriam diamagnéticos, ou seja, não apresentariam resposta quando colocados sob um campo magnético, uma vez que, segundo a teoria de Lewis e a TLV ambas substâncias ( <i>sic</i> ) não têm elétrons desemparelhados.” A51 (Q.G)

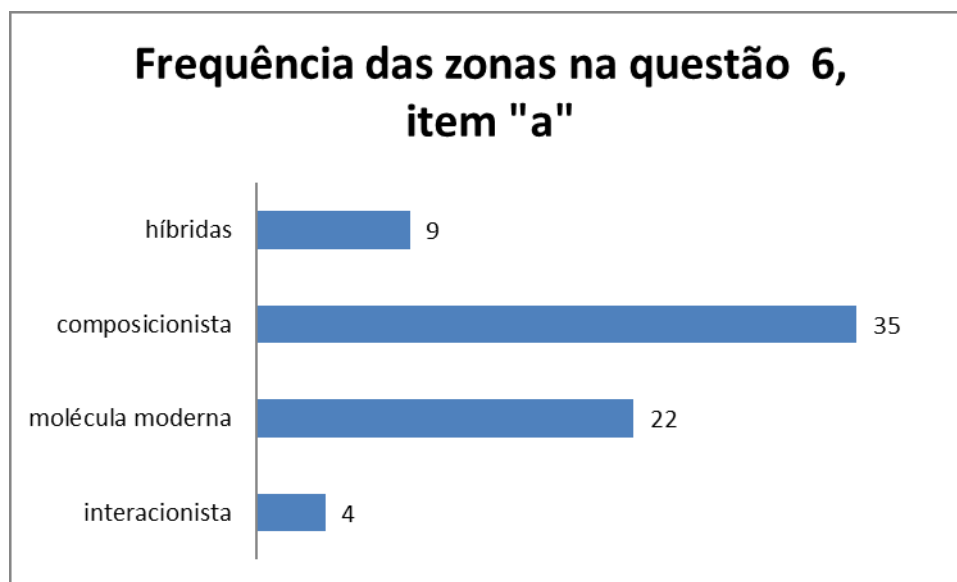
Fonte: autoria própria

Foram classificadas como molécula moderna aquelas respostas que utilizavam termos que remetem aos conceitos de química moderna. Nesse caso específico, foram muito usados os termos paramagnetismo e diamagnetismo, que são adequados para justificar a questão proposta. Em muitos casos, contudo, não houve um detalhamento e explicações mais conceituais.

Classificamos como interacionista aquelas respostas que falavam de reações e interações com outros compostos para justificar o comportamento observado. Na zona composicionista, incluímos respostas que faziam referências aos elétrons emparelhados ou desemparelhados na representação de Lewis, mas não citavam conceitos específicos de química moderna – ou seja, o fato de a molécula ter ou não certas características já seria a justificativa.

Respostas com a zona composicionista foram as mais frequentes nesse item. No Gráfico 7, é possível observar a frequência das zonas.

Gráfico 7 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 6, item “a”



Fonte: autoria própria

A zona mais frequente não foi a que esperávamos para esse item (molécula moderna); ela foi a segunda. Acreditamos que os estudantes não possuem um bom domínio da química moderna e, portanto, não conseguem fazer explicações mais detalhadas utilizando conceitos relacionados a essa parte da química. Dessa maneira, as

respostas apresentam justificativas de características que seriam inerentes aos compostos, resultando em modos de falar próprios da zona composicionista.

### Item b

Nesse item, observamos as mesmas três zonas do anterior. No Quadro 20 são listados exemplos de respostas.

Quadro 20 – Zonas e trechos identificados na questão 6, item “b”

Zonas do perfil de molécula	Trechos das respostas
Molécula moderna	“O $N_2$ é diamagnético e $O_2$ é paramagnético.” A1 (E.M)
Interacionista	“A ordem da ligação N-N é maior, portanto é mais favorável interagir entre si que com o imã ( <i>sic</i> ) [...]” A36 (Q.I)
Composicionista	“Na TOM este comportamento deve-se ao fato de elétrons desemparelhados ( <i>sic</i> ).” A20 (Q.I)
Híbrida – composicionista e molécula moderna	“O $O_2$ possui dois elétrons desemparelhados em $\pi^*$ sendo, portanto, paramagnético.” A22 (Q.I)

Fonte: autoria própria

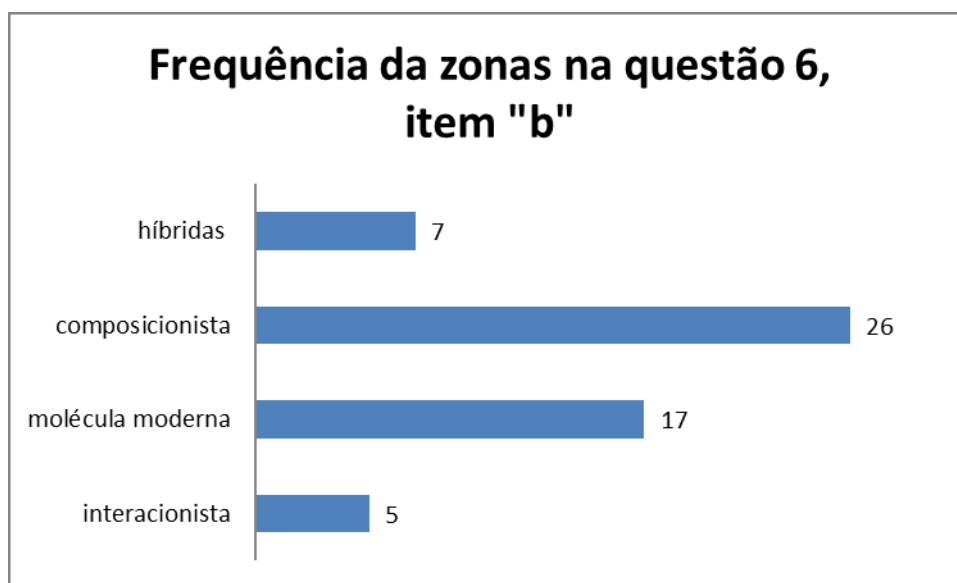
Os compromissos apresentados foram, também, semelhantes ao item anterior. Houve a predominância da zona composicionista, pois as respostas não tinham muitas explicações e apenas citavam o fato de as moléculas terem ou não elétrons desemparelhados. Observe que, no exemplo do quadro para essa zona, o estudante inicia a resposta usando a sigla TOM, mas não apresenta justificativa relacionada a essa teoria, citando apenas a presença de elétrons desemparelhados na molécula. Por essa razão, teve sua conclusão classificada como composicionista. Ele não usa elementos da teoria

do orbital para sua explicação. Acreditamos que a sigla possa ter sido usada porque na pergunta foi citada a teoria do orbital molecular — nome ao qual ela se refere.

No exemplo de resposta híbrida, mostramos um trecho que atribui uma característica do composto analisado a uma propriedade relacionada à molécula moderna. Esse estudante desenhou os diagramas de energia para demonstrar os elétrons desemparelhados em  $\pi^*$ .

No Gráfico 8, podemos observar a predominância da zona composicionista — que, novamente, não era esperada para o item.

Gráfico 8 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 6, item “b”



Fonte: autoria própria

### Questão 7

Analisamos para essa questão apenas o item “c”, pois nos itens “a” e “b” as respostas foram feitas com desenhos. Isso é compatível com o que esperávamos, já que esses dois itens foram propostos antes justamente para verificar representações distintas e, então, provocar explicações para o terceiro. No item “c”, foi solicitado ao estudante que evidenciasse as semelhanças e diferenças das representações feitas nos itens anteriores. A partir das respostas dadas, conseguimos identificar três zonas: átomos geometricamente arranjados, molécula moderna e composicionista. Apresentaremos exemplos de respostas no Quadro 21.

Quadro 21 – Zonas e trechos identificados na questão 7

Zonas do perfil de molécula	Trechos das respostas
Átomos geometricamente arranjados	“As semelhanças entre “a” e “b” são que ambas representam uma cadeia hexagonal fechada com insaturações, contudo, na letra “a” essas insaturações são fixas, enquanto em “b” estão representadas seis ligações iguais, de mesmo comprimento.” A51 (Q.G)
Molécula moderna	“A estrutura representada em “b” é uma média das estruturas de ressonância possíveis (“a”) para o benzeno.” A17 (Q.I)
Composicionista	“A semelhança é que ambos apresentam uma molécula com duplas alternadas e a diferença é que na segunda essas ligações duplas estão deslocizadas.” A75 (Q.G)
Híbrida – composicionista e molécula moderna	“Semelhança no número de elétrons, de átomos e presença de estruturas de ressonância.” A14 (Q.I)

Fonte: autoria própria

Na zona átomos geometricamente arranjados, encontramos respostas que falavam de posição fixa da ligação, da geometria e do arranjo hexagonal do anel. Na composicionista, foram classificadas aquelas respostas que diziam que a diferença era resultante da presença de ligações duplas e simples na molécula, ou seja, respostas que retomavam o compromisso de que a constituição da molécula implica aquela característica e não fazem uso de termos da química moderna, como ressonância.

De todos os itens analisados no questionário, esse foi o que detectamos o menor número de respostas. Tal fato nos chamou atenção tendo em vista que esse é um conteúdo que, geralmente, é trabalhado no ensino médio e ensino superior. A zona molécula moderna foi a mais frequente e era uma zona esperada para a resposta, levando-se em conta o conceito de ressonância abordado no item. Classificamos nessa zona as respostas que faziam a diferenciação das representações por meio do conceito ressonância.

Consideramos o conceito de ressonância incluso na zona molécula moderna pela contemporaneidade de seus estudos em relação à teoria da ligação de valência (TLV), à teoria do orbital do molecular (TOM) e pelas definições dos seus estudos que fizeram aproximações entre a química clássica e quântica. Esses estudos contemporâneos ocorreram ao final da década de 20 do século XX.

O termo ressonância foi introduzido na mecânica quântica em 1926 por Werner Heisenberg, que, para explicar os espectros de emissão dos átomos de hélio (singlete e triplete), elaborou um tratamento matemático correspondente ao de dois osciladores quânticos acoplados que trocam energia entre si, análogo à situação clássica de dois pêndulos em ressonância.

De acordo com a interpretação de Pauling, o fenômeno da ressonância quantum-mecânica manifesta-se através da forma da função de onda do sistema, tanto como combinação linear de funções quanto pela expressão da energia de interação eletrônica, a integral de ressonância. Embora admita a impossibilidade de verificação experimental da ressonância, Pauling defende a importância dessa interpretação (FREIRE, 2011).

À ideia de ressonância de elétrons, seguiu-se a de ressonância entre estruturas eletrônicas das moléculas. A formulação da ligação química proporcionada pela mecânica quântica — que possibilitou interpretar os pares eletrônicos de Lewis em seus termos — foi assim descrita por Pauling:

Com o desenvolvimento da mecânica quântica tornou-se evidente que os fatores responsáveis pela valência química são, essencialmente, o princípio da exclusão de Pauli e o fenômeno da ressonância de Heisenberg-Dirac. Mostrou-se que no caso de dois átomos de hidrogênio no estado normal, trazidos à proximidade um do outro, a autofunção que é simétrica nas coordenadas de posição dos dois elétrons corresponde a um potencial que



conduz a que os dois átomos se combinem para formar uma molécula. Este potencial é principalmente devido a um efeito de ressonância que pode ser interpretado como envolvendo uma troca na posição dos dois elétrons que formam a ligação, de modo que cada elétron está parcialmente associado com um e outro núcleo.” (PAULING 1928b, p. 359 apud FREIRE, 2011, tradução dos autores)

Segundo Freire (2011), Pauling tinha clareza de que, para várias substâncias, não havia como conciliar suas propriedades com uma única fórmula química construída pelo sistema usual de ligações covalentes (simples, duplas e triplas). Pauling, então, se mostrou a favor da manutenção da representação usual das estruturas moleculares, introduzindo, porém, a ideia de que a estrutura correta — das várias estruturas convencionais possíveis — seria a híbrida.

Pauling estendeu a noção de ressonância às ligações químicas, explicando por que distâncias interatômicas medidas situavam-se entre os valores calculados para ligações simples e duplas, como nos casos da grafita, do benzeno e de outros compostos. A ideia é que as ligações “estão ressoando entre ligações simples e duplas” (PAULING, 1932a, p. 295 apud FREIRE, 2011).

A conceituação básica da teoria da ressonância estava estabelecida e foi descrita por Pauling da seguinte maneira:

A ideia de ressonância, em sua aplicação à química, é a seguinte. Se for possível escrever para uma molécula (ou outro sistema) duas ou mais estruturas eletrônicas correspondendo a aproximadamente a mesma energia e satisfazendo outras condições, então, nenhuma das estruturas isoladamente pode ser considerada como representante do estado normal da molécula que, em vez disso, é representado essencialmente por uma média de todas elas; e, além disso, a molécula é mais estável (possui um menor conteúdo energético) que poderia ser se tivesse qualquer uma das estruturas isoladas. A molécula é descrita como ressoando entre as várias estruturas e a energia de estabilização da molécula é denominada energia de ressonância (PAULING, 1938, p. 1857-1858, apud FREIRE, 2011, tradução dos autores).

Pauling entendia a ressonância quantum-mecânica como movimento, uma troca de posição de elétrons entre os átomos participantes da ligação. Seus escritos mostram que a analogia entre ressonância clássica e quântica tinha por base a troca de energia dos sistemas em ressonância, sugerindo uma visão clássica da ressonância quântica. Em termos quantum-mecânicos, diz-se que a função da onda que representa o estado normal da molécula não é qualquer uma das funções de onda correspondentes às várias estruturas eletrônicas, mas uma combinação linear destas. É nesse sentido

que entendemos que o conceito de ressonância pode ser incluído em conceitos de química moderna, pois ele estaria com algo pré-moderno.

Tanto Wheland quanto Pauling reconheciam na ressonância uma ampliação da teoria estrutural clássica. Entretanto, enquanto Pauling percebia a ressonância como fenômeno, Wheland considerava-a como um método aproximativo para tratar moléculas, conforme descrito no trecho:

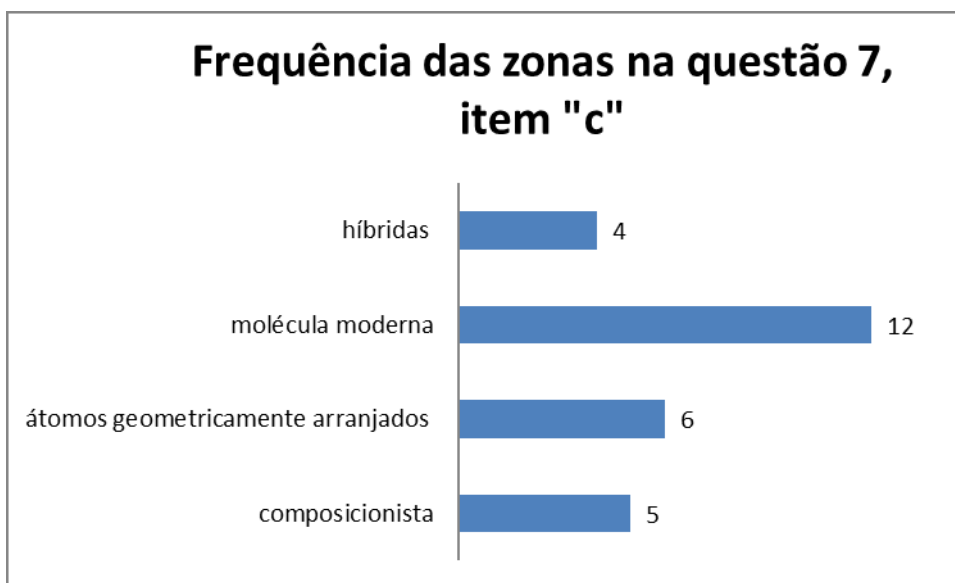
[...] um conceito artificial em um sentido mais fundamental que na maioria das outras teorias físicas. Ele não corresponde a nenhuma propriedade intrínseca da molécula, mas, em vez disso, é apenas um expediente matemático deliberadamente inventado pelo físico ou químico para sua própria conveniência. Inclusive, se o problema quantum-mecânico pudesse ser rigorosamente resolvido ou mesmo se um método aproximativo diferente fosse empregado, a ideia de ressonância não apresentar-se-ia. (WHELAND, 1955, p.28-29 apud FREIRE, 2011, tradução dos autores).

Há de se ressaltar que Pauling procurou mostrar que a teoria da ressonância é tão arbitrária quanto a teoria estrutural clássica da química orgânica, pois ambas empregam idealização, mas passam a ser amplamente usadas. Além disso, ele indica que o valor das teorias independe das idealizações e da arbitrariedade envolvidas. Na descrição do benzeno pela teoria da ressonância, as estruturas de Kekulé devem ser consideradas como hipotéticas porque não é possível sintetizar moléculas com essas estruturas.

Pauling e Wheland definiram, então, o significado de ressonância que é utilizado entre os químicos. A história desse conceito mostra que, embora a ideia tenha nascido com Pauling e de cunho realista, associada ao movimento de elétrons, ligações e estruturas químicas, a controvérsia que se desenvolveu finalizou com a vitória da noção de instrumento teórico útil para representar estruturas.

No Gráfico 9, podemos observar a frequência da zona átomos geometricamente arranjados, que também era uma zona esperada devido à retomada da ideia clássica por alguns estudantes.

Gráfico 9 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 7, item “c”



Fonte: autoria própria

Esse baixo índice de respostas pode estar relacionado à dificuldade dos estudantes em compreender os aspectos submicro e/ou representacional e relacioná-los com as teorias que os explicam. Por vezes, os estudantes acabam se perdendo em erros conceituais ou em explicações teóricas desconexas das representações.

### Questão 8

Nessa questão, apresentamos uma reação em etapas e pedimos uma explicação sobre o porquê de a primeira etapa ser rápida e a segunda ser lenta. Identificamos três zonas: substancialismo, interacionista e composicionista; para a primeira, porém, tivemos apenas uma resposta, que é a apresentada no Quadro 22.

Quadro 22 – Zonas e trechos identificados na questão 8

Zonas do perfil de molécula	Trechos das respostas
Substancialismo	“A segunda etapa é lenta, pois a molécula de ácido carbônico é solúvel em água [...]” A48 (Q.G)
Interacionista	“Ao entrar em contato com a água, o bicarbonato se decompõe e o

	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> liberado logo se conecta ao H <sup>+</sup> presente no ambiente. Já o ácido carbônico necessita que o meio esteja estabilizado para que ele se decomponha em CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O.” A58 (Q.G)
Híbrida – composicionista e interacionista	“A primeira etapa do processo é rápida por conta da instabilidade do ácido carbônico, que explica sua alta reatividade com água.” A67 (Q.G)

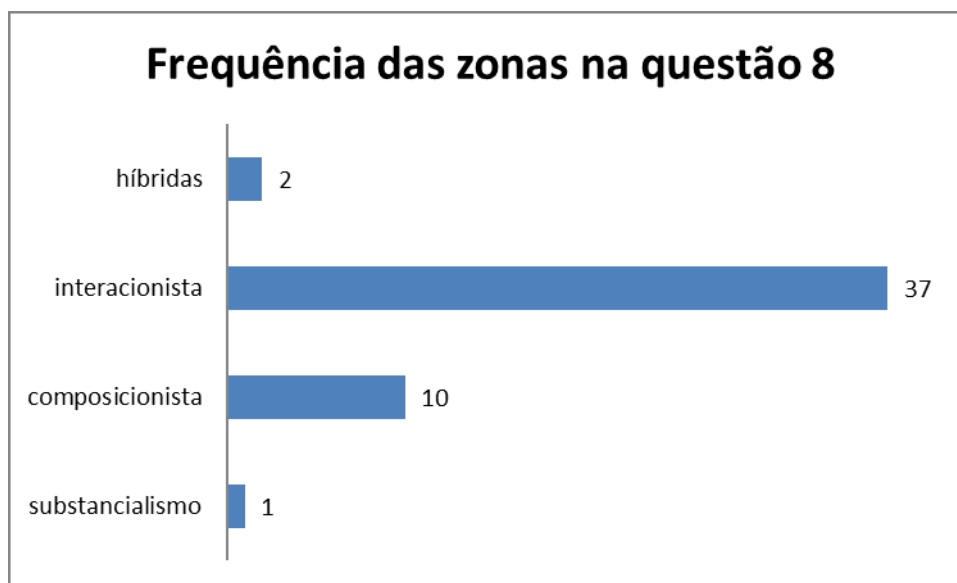
Fonte: autoria própria

Na resposta da zona substancialismo, observamos uma justificativa que afirma que a molécula é solúvel, portanto, evidencia o compromisso de que não há diferença entre a molécula e a substância. Quando tratamos de solubilidade, podemos, de fato, analisar as características da molécula para justificar a solubilidade da substância. Não é possível, contudo, afirmar que a molécula é solúvel, uma vez que solubilidade está associada à substância.

Na zona interacionista, observamos respostas que justificavam a rapidez das etapas por meio do contato do reagente com outras substâncias e da interação com o meio. Observamos, também, duas respostas híbridas em que os estudantes utilizaram características atribuídas à molécula ou à substância relacionada à sua composição — ou constituição — para explicar a diferença de rapidez nas etapas. A justificativa era, ainda, finalizada citando a reatividade do ácido com a água, o que, nesse caso, evidencia o compromisso da interação com outra substância e, portanto, remete à zona interacionista.

A zona interacionista foi a mais frequente nas respostas dessa questão, conforme pode ser observado no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 8



Fonte: autoria própria

Para essa questão, colocamos como zona esperada a antiga química moderna; porém, de acordo com a resposta esperada, indicamos que era previsto o uso do compromisso relacional, posto que estaríamos tratando de reações e contato entre os reagentes. Ter essa zona como a mais frequente nessa questão vai ao encontro da ideia do comportamento relacional e das interações estabelecidas entre os reagentes na reação.

### Questão 9

Para essa questão, obtivemos respostas que levaram ao entendimento de cinco zonas: substancialismo, átomos geometricamente arranjados, composicionista, interacionista e molécula moderna. No Quadro 23, apresentaremos algumas respostas que foram dadas e elucidaram essas zonas.

Quadro 23 – Zonas e trechos identificados na questão 9

Zonas do perfil de molécula	Trechos das respostas
Substancialismo	“Molécula é uma substância com número fixo de átomos ligados covalentemente entre si.” A5 (E.M)

Átomos geometricamente arranjados	“Molécula é um conjunto de átomos de maneira organizada.” A22 (Q.I)
Composicionista	“Molécula é o conjunto de átomos, sejam eles iguais ou diferentes.” A21 (Q.I)
Interacionista	“Molécula é a ligação de dois ou mais átomos.” A10 (E.M)  “Moléculas são átomos que se ligam de maneira predominantemente covalente.” A16 (Q.I)
Molécula moderna	“Conjunto de átomos homo ou heteronucleares.” A14 (Q.I)
Híbrida – substancialismo e molécula moderna	“Molécula é o composto formado por ligações químicas onde ( <i>sic</i> ) os orbitais atômicos formam um orbital molecular, compartilhando os elétrons.” A4 (E.M)
Híbrida – átomos geometricamente arranjados e interacionista	“Moléculas são estruturas formadas por ligações covalentes entre átomos.” A28 (Q.I)
	“Molécula é uma substância com

Híbrida – substancialismo, composicionista e interacionista	número determinado de átomos ligados covalentemente entre si.” A5 (E.M)
---	---

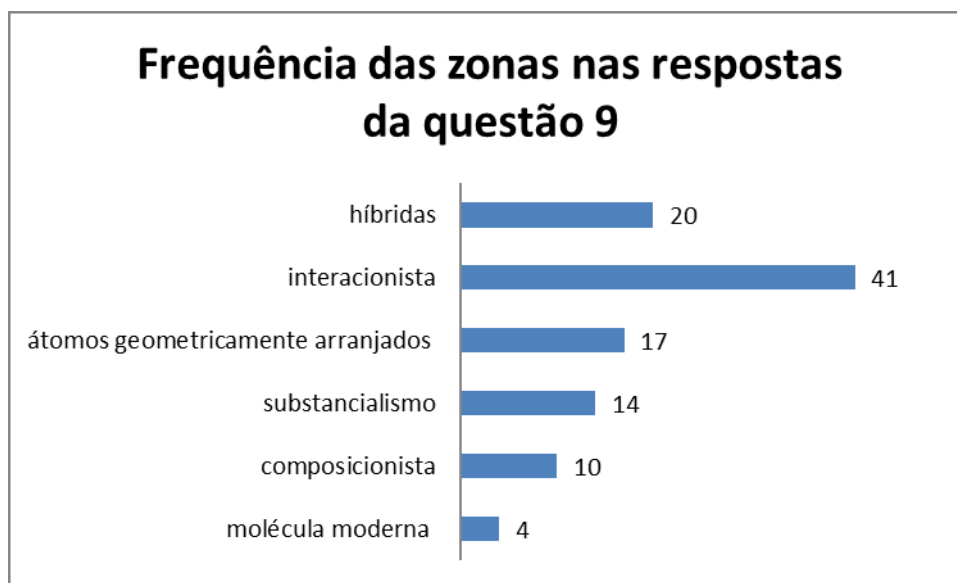
Fonte: autoria própria

Para a zona substancialismo, identificamos aquelas respostas que faziam referência à molécula com sendo o todo, ou seja, a molécula seria uma substância, e não apenas constituinte dela. Para a átomos geometricamente arranjados, conseguimos observar, nas definições, o compromisso com o arranjo estrutural como foco da resposta. Na composicionista, incluímos respostas que indicavam que a molécula seria um conjunto de átomos ou unidade mínima constituída por átomos. Na interacionista, as respostas enquadradas a definiam como sendo a própria ligação química; algumas delas, inclusive, detalhavam o tipo de ligação e afirmavam que a molécula era a união de átomos por ligação covalente ou compartilhamento de elétrons. Para a zona molécula moderna, por fim, identificamos aquelas respostas em que os estudantes remeteram a expressões relacionadas à química moderna, como orbitais moleculares e átomos heteronucleares.

No exemplo de respostas do estudante A4, podemos observar uma resposta híbrida em que há formas de falar que remetem tanto à zona molécula moderna quanto à substancialismo, já que o estudante diz que a “molécula é o composto”. Nos outros dois exemplos de respostas híbridas, os alunos aludiam à zona interacionista — no primeiro havia referência à estrutura molecular e, no segundo, a afirmação de que a molécula é a substância.

Pelo Gráfico 11, podemos observar que essa foi uma questão em que tivemos, novamente, um número significativo de respostas híbridas. Como ela se referia diretamente ao conceito de molécula, essa percepção pode nos auxiliar a revelar o perfil conceitual individual ao mostrar que, em um mesmo indivíduo, detecta-se a presença de duas zonas para a conceituação.

Gráfico 11 – Frequência das zonas nas respostas para a questão 9



Fonte: autoria própria

A zona mais frequentemente observada foi a interacionista, seguida da zona átomos geometricamente arranjados. Isso nos leva a imaginar que, durante o curso de Química, há uma predominância no ensino do conceito de molécula conforme a organização espacial (geometria molecular) e a combinação (interação) entre os átomos. Mesmo entre alunos de períodos mais avançados, tivemos uma baixa frequência da zona molécula moderna.

A maioria das respostas interacionistas, porém, não dava explicações mais aprofundadas a respeito da ligação, apenas uma citação simples da ligação covalente, estabelecendo uma abordagem classificatória. Isso nos remete ao que afirma De Pozada (1993) sobre a natureza do vínculo covalente não ser bem compreendida pela maioria dos estudantes, mesmo depois de ser abordada por anos no currículo.

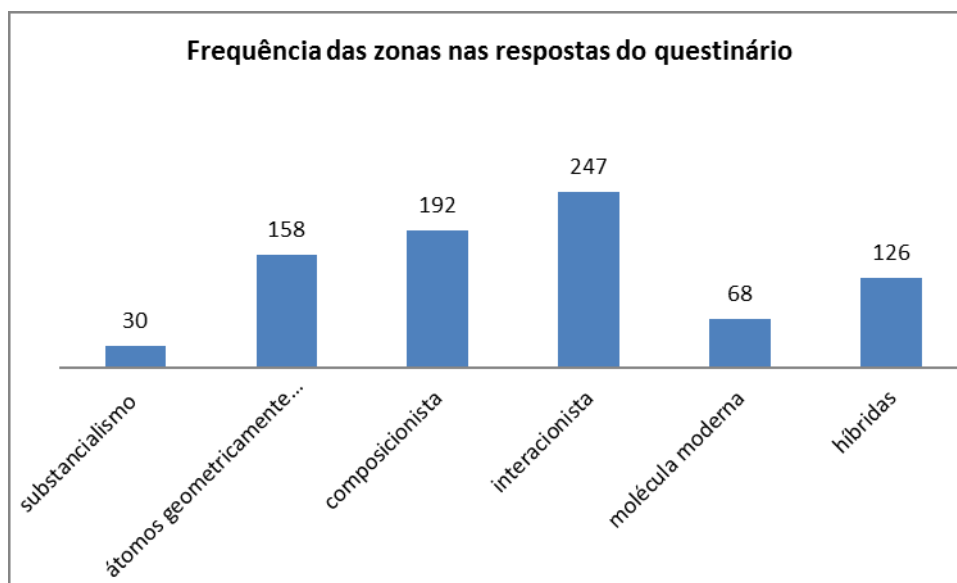
#### 5.4.3 - Considerações gerais sobre a análise do questionário

Após analisar todas as questões apresentadas, conseguimos identificar cinco zonas do novo perfil conceitual de molécula: substancialismo, átomos geometricamente arranjados, molécula moderna, interacionista e composicionista. Para examinar quais foram as zonas que mais predominaram no questionário, fizemos uma retomada de



todas as questões e percebemos que a zona interacionista foi a que mais apareceu, conforme o Gráfico 12.

Gráfico 12 – Frequência das zonas nas respostas do questionário completo



Fonte: autoria própria

Nota-se uma predominância das zonas átomos geometricamente arranjados, interacionista e composicionista, que acreditamos estar relacionada à maneira como o conceito é trabalhado nas aulas das disciplinas em que o questionário foi aplicado, assim como na disciplina de Química no ensino médio.

Os professores, de uma maneira geral, estão focados nas partes das moléculas que vão reagir e que as constituem (zona composicionista); em explicar a geometria molecular e como os átomos estão arranjados (átomos geometricamente arranjados); em relacionar propriedades e características da molécula às interações estabelecidas entre elas e o meio (interacionista). Por isso, acreditamos que os estudantes, ao responderem às questões, têm acesso a essas zonas mais facilmente que outras como a molécula moderna, que entendemos ser um aspecto ainda pouco trabalhado nas salas de aula.

Também podemos pensar que os compromissos relacionados a essas zonas reforçam a ideia da química como uma ciência que se caracteriza por esclarecer fenômenos derivados das transformações da matéria, baseando suas explicações na

existência de partículas, sendo que as alterações no arranjo ou interações entre essas partículas causam mudanças que podem ser observadas macroscopicamente (POZO e CRESPO, 2009).

No que tange ao ensino superior, é necessário um olhar mais cauteloso acerca da molécula moderna, visto que os compromissos envolvidos nessa zona nos parecem muito relevantes para o entendimento da molécula para futuros profissionais e professores de química. Pelos questionários, podemos observar que foi a zona científica menos adotada e, quando utilizada, eram feitas apenas citações dos conceitos que rodeiam a química moderna. Os estudantes não foram capazes de construir respostas que aprofundassem e trouxessem à tona detalhes dos conceitos envolvidos, o que pode refletir na não apropriação dos conceitos ou em uma apropriação inadequada da linguagem adotada naquele contexto.

A zona substancialismo despontou com menor frequência nos questionários; porém, revelou um modo de pensar e forma de falar que parece ainda marcante nos contextos de ensino-aprendizagem, aparecendo em livros didáticos, aulas de ensino superior e questionários.

Tivemos um número significativo de respostas híbridas, o que evidencia a presença do perfil conceitual em diversos estudantes visto que eles trabalham com definições de mais de uma zona para resolverem um mesmo problema.

Além da análise de frequência, contabilizamos o número de questões em que cada zona apareceu para termos uma relação entre a frequência da zona e a forma que ela se distribui no questionário. Observamos que as zonas interacionista e composicionista apareceram na resposta para sete questões; as zonas átomos geometricamente arranjados e molécula moderna, em cinco; a zona substancialista, em quatro. No Quadro 24, podemos observar esses resultados. As questões são tratadas de Q1 a Q9 e aquelas que possuem subitens foram detalhadas pelas letras juntamente com o número da questão.

Quadro 24 – Zonas do perfil e as questões em que apareceram

<b>Zonas do perfil</b>	<b>Questões identificadas</b>
Substancialismo (4 questões)	Q1, Q2b, Q8, Q9
Átomos geometricamente arranjados (5 questões)	Q1, Q2a, Q2b, Q2c, Q4, Q7c, Q9
Molécula moderna (5 questões)	Q2a, Q2b, Q2c, Q4, Q6a, Q6b, Q7c, Q9
Interacionista (7 questões)	Q1, Q2a, Q2b, Q2c, Q3, Q4, Q6a, Q6b, Q8, Q9
Composicionista (8 questões)	Q1, Q2a, Q2b, Q2c, Q3, Q4, Q6a, Q6b, Q7c, Q8, Q9

Fonte: autoria própria

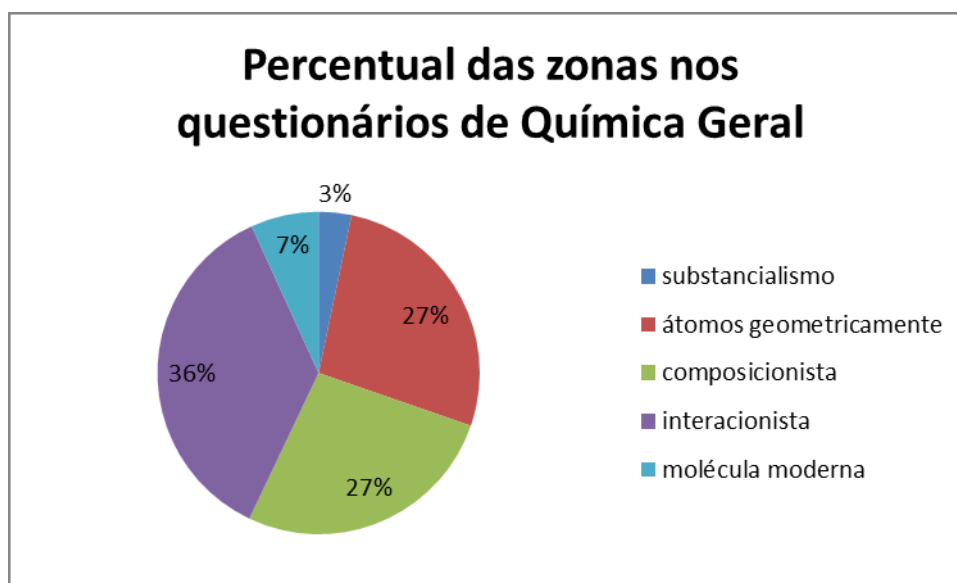
Percebemos que as zonas mais frequentes no questionário se distribuíram em diversas questões, sendo que a interacionista e a composicionista aparecem na maior parte delas. Acreditamos que esse uso esteja associado ao fato de as duas zonas contemplarem compromissos que podem ser utilizados nos mais diversos contextos. A zona átomos geometricamente arranjados, apesar de muito frequente, apareceu em número menor de questões. Acreditamos que isso pode estar associado à especificidade dos compromissos dessa zona com o arranjo espacial da molécula e, portanto, teremos contextos próprios em que seu uso se mostra mais adequado.

Verificamos a presença de respostas híbridas em todas as questões, embora isso tenha sido mais frequente em algumas delas, como é o caso das de número 1 e 9. Se voltarmos na proposta e na análise dessas questões, observamos que, de fato, elas são mais abertas e permitem um uso mais amplo de diversas zonas, criando, então, possibilidades para que se use mais de uma zona na mesma solução do problema.

Para compreender melhor a frequência de uso das zonas nas diferentes disciplinas em que o questionário foi aplicado, fizemos um panorama com o percentual em que elas apareceram. Conforme observamos dos Gráficos 13, 14 e 15, as zonas

interacionista e composicionista, além de não terem significativa variação percentual entre as turmas, representam as zonas com maior percentual em todas. Nesse sentido, reafirmamos que as ideias centrais retomadas por elas parecem percorrer todo o curso de Química com uma relevância marcante.

Gráfico 13 – Percentual das zonas observadas nos questionários aplicados na disciplina de Química Geral



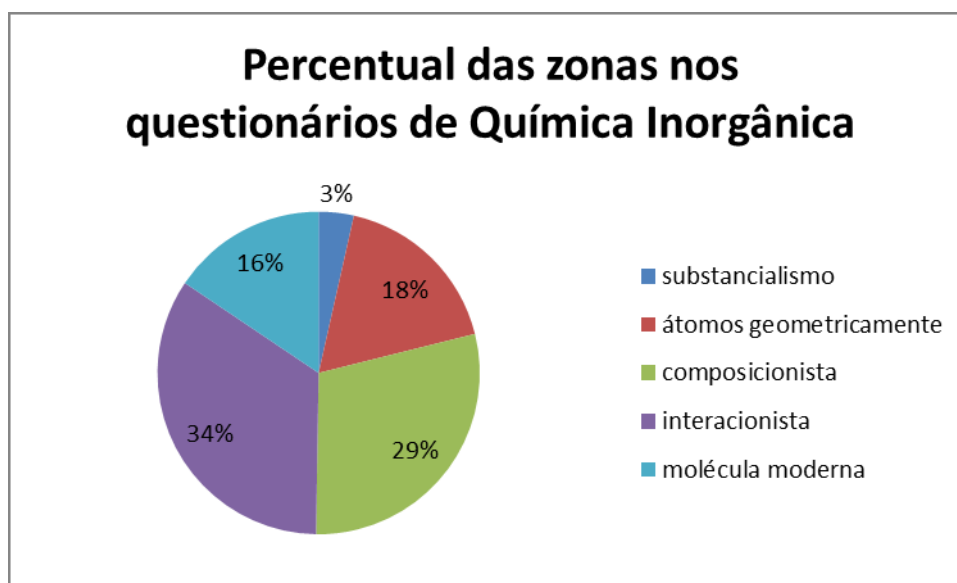
Fonte: autoria própria

Ao observarmos os três gráficos que mensuram a incidência das zonas em cada disciplina, verificamos que o maior percentual da átomos geometricamente arranjados ocorreu nos questionários de Química Geral. Podemos inferir que isso esteja intimamente relacionado com os conteúdos que são trabalhados na disciplina, a exemplo da geometria molecular e polaridade de moléculas. Esses assuntos demandam entendimento de uma molécula com organização espacial definida, e, pelo que nos parece, os estudantes estão se apropriando dessa linguagem.

Outro indício poderia estar associado ao fato de os estudantes de Química Geral serem recém-ingressos na universidade. Por isso, carregam concepções vinculadas ao processo de ensino-aprendizagem do ensino médio que, por vezes, também tem seu foco nos temas abordados na Química Geral, com alguma diferença de aprofundamento.

A zona interacionista ficou com o maior percentual dentre as zonas dessa disciplina. Tal predominância pode estar associada ao fato de que esse tema — ligações químicas e interações intermoleculares — é pauta de estudo na Química Geral, favorecendo, então, formas de falar e modos de pensar da zona interacionista.

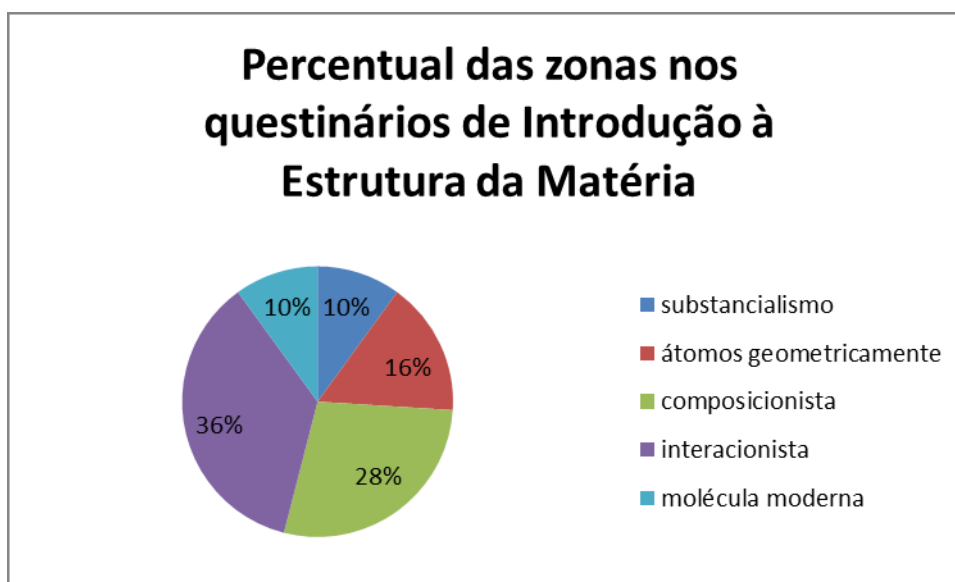
Gráfico 14 – Percentual das zonas observadas nos questionários aplicados na disciplina de Química Inorgânica



Fonte: autoria própria

Nos dados de Química Inorgânica, nossa atenção focou no maior percentual da zona molécula moderna quando comparado aos das outras duas disciplinas, já que, inicialmente, pressupusemos que essa zona teria maior percentual em disciplinas mais avançadas, como a de Estrutura da Matéria. Porém, ao retomar a ementa de Química Inorgânica, observamos que os tópicos estudados fazem referência aos conceitos da química moderna, tais como: quantização da energia, propriedades ondulatórias da matéria, Princípio da Incerteza, representações de orbitais, moléculas diatômicas homonucleares e heteronucleares e moléculas poliatômicas.

Gráfico 15 – Percentual das zonas observadas nos questionários aplicados na disciplina Introdução à Estrutura da Matéria



Fonte: autoria própria

O maior percentual da zona substancialismo, em relação aos dados de outras disciplinas, ocorreu na turma de Introdução à Estrutura da Matéria — algo que, a princípio, nos parece surpreendente, visto que é a turma com estudantes em períodos mais avançados no curso. Porém, ao refletir sobre o ocorrido e sobre o uso das formas de falar dessa zona, parece-nos que, realmente, o substancialismo aparenta ser inerente ao falar dos químicos. Talvez, ao termos um maior domínio dessa ciência, passemos a produzir falas menos detalhadas e explicadas sobre o que estamos nos referindo, de modo que as moléculas — e não as substâncias — passam a ter cores, temperatura de fusão e ebulição. Entretanto, uma dúvida fica evidente: será que essas pessoas pensam de maneira semelhante ao que falam ou apenas estão fazendo uso simplificado/rotineiro da forma de falar?

Ao retomar a presença do substancialismo na fala dos professores das aulas filmadas, penso que a nossa resposta para a pergunta acima tenderia a ser que estão usando de forma simplista a relação molécula/substância. Porém, para os estudantes, é complexo inferir isso visto que eles podem estar se apropriando do compromisso dessa zona; compreendo, assim, que as propriedades das substâncias são, de fato, atribuídas à

molécula. Nós, professores, devemos estar atentos, portanto, às formas de falar que utilizamos em sala de aula, pois podemos estar favorecendo compromissos de zonas que não seriam adequadas para as explicações científicas.

Por fim, identificar que as cinco zonas estiveram presentes nos dados de todas as turmas nos faz validar as zonas propostas independentemente do contexto de avaliação. Nesse sentido, reforçamos a proposição do novo perfil conceitual sendo constituído pelas seis zonas descritas nesse trabalho.

## **CAPÍTULO 6**

---

**Proposta e aplicação de atividade com perfil  
conceitual de molécula**



### 6.1 – A atividade proposta

Após propor o novo perfil conceitual de molécula e validá-lo com os dados empíricos coletados, elaboramos uma atividade para ser desenvolvida com turmas de graduação e pós-graduação.

Nossa proposta foi elaborar uma atividade que ocorresse em uma única aula e pudesse promover a utilização das diferentes zonas do novo perfil conceitual. Pensamos nas cinco zonas que percorreram todos os dados do trabalho: substancialismo, átomos geometricamente arranjados, composicionista, interacionista e molécula moderna. Pretendemos, então, examinar as implicações da heterogeneidade de modos de pensar e falar sobre moléculas no ensino superior.

Além disso, buscamos um professor que pudesse realizar a aula nas duas turmas — graduação e pós-graduação — e conseguimos um de Química Orgânica que, no semestre de coleta de dados, estava lecionando as disciplinas nos dois níveis. Achamos interessante aplicar na Química Orgânica, visto que já havíamos analisado aulas de Química Geral e Inorgânica.

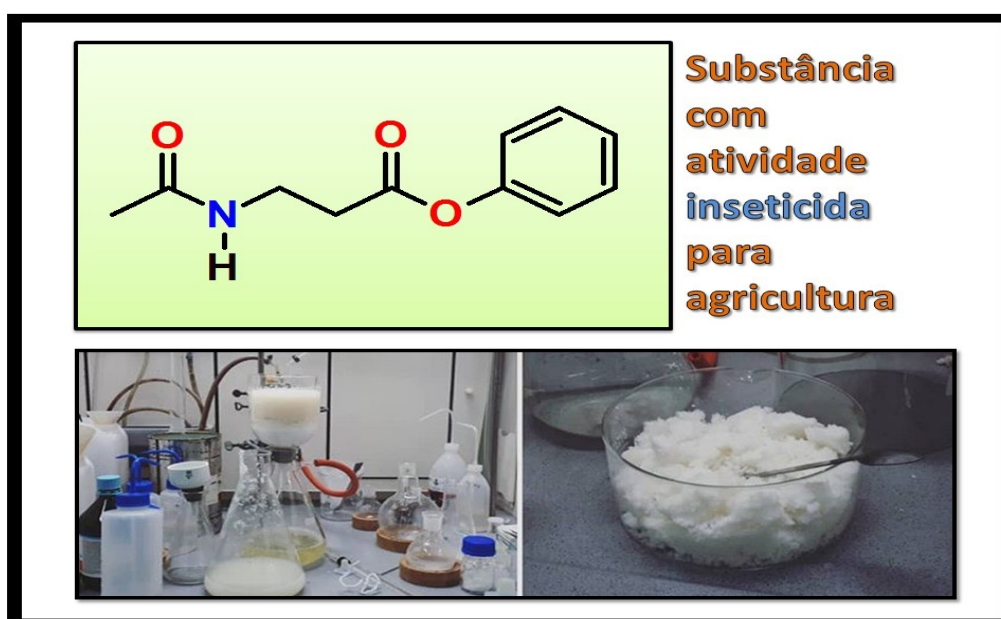
A atividade foi elaborada pelos pesquisadores em conjunto com o professor, para que não fosse proposto algo distante do que os estudantes estavam habituados a trabalhar. A atividade foi a mesma para as duas turmas, pois queríamos observar como a diferença de contexto pode influenciar nas formas de falar e modos de pensar para resolver um mesmo problema proposto. Nas duas disciplinas, o professor trabalhava com mecanismos e síntese de compostos orgânicos. Dessa maneira, propusemos a síntese de um composto, detalhando as etapas da rota proposta.

O professor solicitou que a pesquisadora participasse da aula, ou seja, que realizassem uma aula de maneira conjunta. Foi possível, então, direcionar questões durante os momentos de interação para resolução da atividade, embora as explicações mais conceituais tenham sido realizadas pelo professor regente. Os estudantes foram informados de que a atividade faria parte desta pesquisa de doutorado, mas não sobre o que seria investigado por meio dela.

As atividades foram desenvolvidas em aulas geminadas, totalizando 1h e 40 min para cada turma, ambas realizadas no último mês do semestre letivo. As aulas foram filmadas para posterior análise e para realização das transcrições que se fizessem necessárias. Foi utilizada apenas uma câmera em posição fixa na parte frontal da sala, virada para os estudantes, mas de modo a também filmar o professor e a pesquisadora.

O professor trabalha habitualmente com slides e quadro branco. Então, nessa atividade, ele apresentou inicialmente a imagem do slide (Figura 7) e informou qual seria o objetivo da aula — elaborar a síntese desse inseticida e discutir as etapas envolvidas. A imagem também ressalta as características macroscópicas de ser um sólido e branco.

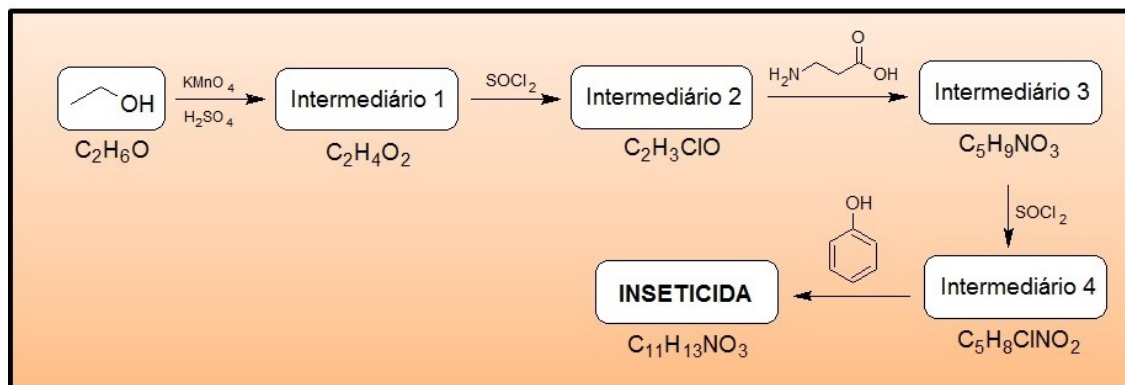
Figura 7 – Primeiro slide apresentado na aula pelo professor



Fonte: Professor regente

Em seguida, o professor indicou o possível caminho de síntese — mas sem identificar quais seriam os intermediários — utilizando o slide da Figura 8. O objetivo da aula era que os estudantes identificassem os intermediários e justificassem o porquê das suas indicações e como poderiam confirmá-las ou testá-las.

Figura 8 – Segundo slide apresentado na aula pelo professor



Fonte: Professor regente

No nosso planejamento da atividade, discutimos perguntas que seriam realizadas oralmente para guiar as discussões da síntese proposta; por fim, elas foram elaboradas pensando nas diferentes zonas que queríamos evidenciar com a atividade. As perguntas planejadas e as zonas predominantes pretendidas foram:

- Quais compostos você utilizaria para sintetizar o composto apresentado? Justifique suas escolhas. (Composicionista)
- Quais reações ocorrerão? E quais detalhes são importantes nos mecanismos de reação em cada etapa? (Átomos geometricamente arranjados e substancialismo)
- Na última etapa da síntese, observamos a reação com um composto que altera significativamente as características do composto final sintetizado. Você saberia dizer quais são essas características? (Molécula moderna)
- Se você tivesse que escolher um solvente adequado para o composto final, qual seria? Justifique sua escolha. (Interacionista)

Para a primeira questão, esperávamos justificativas que se refeririam aos compostos sintetizados no sentido de prever as fórmulas ou grupos funcionais constituintes, tendo, assim, uma predominância do composicionismo.

Na segunda questão, ao justificar detalhes das reações, esperávamos que os estudantes utilizassem argumentos como estereoquímica das reações e, também, aspectos macroscópicos ou físico/químicos que justificassem as etapas.

Na terceira questão, queríamos ressaltar a presença do anel aromático que foi adicionado ao composto e, portanto, focar na ressonância e mobilidade eletrônica na molécula. Assim, acreditamos que surgiriam explicações baseadas em fundamentos da química moderna.

A quarta questão foi pensada para discutir previsibilidade da solubilidade dos compostos. Nesse sentido, parece-nos plausível prever que surgiriam justificativas com a zona interacionista, já que os estudantes precisariam propor as interações que seriam formadas e rompidas para que ocorresse o processo de solubilização.

Durante a aula, essas perguntas não ocorreram na ordem que foram aqui apresentadas, mas isso também não era nossa pretensão. Ademais, elas sofreram variações em função das questões que estavam sendo discutidas e das interações que foram estabelecidas. Houve momentos de discussão acerca de todos os itens que foram planejados, mesmo que de maneira um pouco distinta do planejado, em alguns casos.

## 6.2 – A análise das aulas com aplicação da atividade proposta

Faremos a análise das aulas identificando formas de falar e modos de pensar que foram apresentados durante as interações entre professor/estudantes/pesquisadora na execução da atividade proposta. Para a apresentação dos dados, usaremos transcrições baseadas nas delimitações de Buty e Mortimer (2008) já descritas nesse trabalho. Grifos em negrito foram utilizados para evidenciar os trechos que remeteram às zonas. Juntamente às falas identificadas, serão apresentadas explicações dos momentos da aula para que seja possível a compreensão da situação em que elas ocorreram dentro da atividade proposta.

### 6.2.1 – A aula de Orgânica na graduação

A turma contava com vinte e dois estudantes presentes, todos vinculados aos cursos de Química, licenciatura e bacharelado. A atividade foi iniciada pelo professor regente com a apresentação do slide da Figura 7 e a seguinte fala:

“Essa é uma molécula nova, uma substância nova que foi sintetizada no laboratório/ usando toda uma série de reações que vocês já conhecem. Essa substância branca que vocês estão vendo aqui isolada/ esse pozinho branco/ aqui essa é a substância que vocês estão vendo aqui dentro/ **o pozinho branco que foi obtido no final dessa síntese é essa molécula aqui.**”

Nesse trecho, observamos um modo de falar com compromisso da zona substancialismo. Na última parte da fala, verifica-se que, para o professor, o pó branco é a molécula. No momento que ele diz “aqui essa é a substância que vocês estão vendo aqui dentro”, ele aponta para a fórmula molecular do inseticida e afirma ser a substância que eles estão vendo dentro do frasco na imagem. Notamos, novamente, algo que foi retratado na análise das aulas: parece-nos que isso é algo comumente usado na linguagem dos químicos — estabelecer relações entre as moléculas e substâncias que elas constituem.

Outro trecho com partes substancialistas foi identificado logo no início da aula, quando o professor explicava, de maneira geral, o que seria feito na atividade:

**“Então o que a gente vai discutir agora é como essa molécula foi montada no laboratório/ o que você precisa fazer pra poder montar ela/ na verdade nós vamos fazer a produção que passa por quatro intermediários até chegar ao produto final/ a síntese que a gente chama de síntese linear/ eu sintetizo uma primeira molécula/ depois eu tenho que modificar essa molécula numa segunda/ modificar essa segunda numa terceira/ até chegar na última molécula/ e tudo isso parte dessa moléculazinha aqui ó (sic).”**

Nas partes em destaque, observamos que o professor diz que irá sintetizar no laboratório uma molécula; entretanto, sabemos que isso não ocorre, havendo, na verdade, uma síntese de substâncias, de modo que essas moléculas serão como o modelo supõe que elas sejam constituídas. No laboratório não seria possível observar a formação isolada de cada molécula, como ele retrata na sequência ao final desse trecho.

Em seguida, apresentamos um trecho em que o professor apresenta fala substancialista e a estudante, interacionista.

“Professor: Quem é esse cara aqui ó (sic)? [aponta slide]/ esse é o etanol/ etanol tem temperatura de ebulição alta? Tem temperatura de ebulição baixa? **O que vocês esperam para a molécula de etanol? Etanol é uma molécula que evapora fácil?** Que evapora com certa dificuldade comparado com outros solventes orgânicos?”

Aluna: Temperatura alta.

P: Por quê?

A: **Porque faz ligação de hidrogênio.**

P: Faz ligação de hidrogênio. Vai fazer ligação de hidrogênio entre si.”

O professor pergunta se a molécula evapora facilmente, ou seja, está tratando de propriedades da substância, mas está se referindo à molécula. A estudante, porém, responde usando uma forma de falar característica da zona interacionista para justificar a alta temperatura de ebulição que alegou. O professor complementa que as interações de ligação de hidrogênio serão estabelecidas entre as moléculas, ou seja, ele explicita que,

para justificar a temperatura de ebulição, é necessário pensar no que ocorre entre as moléculas da substância que tem a sua temperatura de ebulição avaliada.

Na sequência, o professor começa a discutir a previsão de formação do primeiro intermediário. Para representar esse momento, apresentaremos um trecho mais extenso em que ocorreram falas distintas e zonas diferentes. Nele, há falas do professor (P), alunos (A) e da pesquisadora (R). Novamente, colocamos em destaque trechos que nos remeteram às zonas.

“P: Essa primeira reação aqui ó / eu queria que vocês me ajudassem a prever/ quando eu coloco etanol em contato com permanganato de potássio e ácido sulfúrico / o que eu consigo obter no laboratório nessa primeira etapa? Vocês lembram o que acontece aí?

A: Um ácido carboxílico por oxidação ali.

P: **Vai formar um ácido carboxílico por oxidação desse carbono aqui ó (*sic*)/ certo? Vocês conseguem desenhar quem foi esse intermediário?**

[Professor permite um tempo para os estudantes desenharem a fórmula no caderno]

P: Passa pela formação de um aldeído e depois chega no ácido carboxílico. Exatamente. Um outro guia aqui/ **a fórmula molecular do composto intermediário é essa/ a fórmula molecular do álcool que está aqui é essa/ talvez isso nos ajude a pensar aqui no composto. Esse produto aqui vocês acham que terá maior ou menor temperatura de ebulição que o álcool de partida? Menor ou maior?**

A: Maior.

A: Ele pode fazer ligação de hidrogênio.

P: Mas o álcool já não fazia ligação de hidrogênio entre si? Uma molécula dessa não podia fazer ligação de hidrogênio com outra dela mesma?

A: Mas o ácido tem aquela interação [aluno faz um gesto mostrando o que seria].

P: Qual o nome desse tipo de interação na química?

A: Não lembro [risos].

P: Eles fez assim ó (*sic*) [professor repete o gesto feito pelo aluno]/ veja se ajuda vocês/ o álcool pode fazer uma ligação de hidrogênio [faz gesto]/ o ácido carboxílico pode chegar assim [faz gesto] perto do outro e fazer uma interação/ essa interação é tão forte que os químicos decidiram dar um nome diferente/ quando tem duas ligações de hidrogênio simultâneas/ agora a gente em formação de um/ um di...

A: Um dímero.

P: Exatamente/ um dímero de ácido carboxílico/ **os ácidos carboxílicos têm a temperatura de ebulição muito alta**/ então essa é uma das formas de por exemplo você ver se a primeira reação funcionou/ **você testa a temperatura de ebulição do seu reagente e depois testa a temperatura de ebulição do seu produto/ isso dá pra fazer no laboratório de maneira muito fácil.**

R: **Então qual é o critério básico que vocês usam pra diferenciar a temperatura de ebulição do etanol e do intermediário formado?**

A: **A interação intermolecular que eles estabelecem.**

P: Só isso?

A: **A quantidade de focos que eles têm.**

R: É/ porque nesse caso se a gente for olhar o tipo da interação é o mesmo né?

A: Sim

R: **Mas tem diferença nas regiões/ né? E aí como eu vou diferenciar as regiões? O que eu tenho que olhar?**

A: **Tem que olhar se tem impedimento estérico ou não/ o tamanho da cadeia/ se...**

R: **Então o que eu tenho que olhar na molécula?**

A: **A estrutura, o que tem na molécula.**

R: Isso/ tem que olhar os pontos que tem lá ou não e que permitem fazer as interações que eu quero.”

Podemos observar, nesse trecho, que o diálogo apresenta modos de falar relacionados ao substancialismo nos primeiros grifos, mas, ao decorrer, vão se tornando



claros os compromissos interacionistas — quando as justificativas se baseiam nas interações entre as moléculas para justificar as diferenças nas temperaturas de ebulição. Ao final, surgem, também, falas que remetem ao composicionismo, visto que afirmam ser relevante observar os grupos que existem na molécula para saber quais as interações possíveis de serem estabelecidas. Conseguimos observar como foi ocorrendo a transição no uso de diferentes formas de falar com o decorrer do diálogo durante a busca de soluções para a questão apresentada.

Em quase todas as etapas da síntese, o professor perguntou sobre as diferenças de temperaturas de ebulição do reagente de partida e do produto final. A grande maioria dos estudantes e o professor mantiveram o uso de formas de falar relacionadas ao interacionismo, visto que estavam focados nas interações estabelecidas entre as moléculas.

O professor realizou uma fala que nos chamou bastante atenção e marcou uma distinção que acreditamos ocorrer para as zonas átomos geometricamente arranjados e composicionista:

“Tem como dissociar química orgânica de estrutura molecular? Tem como estudar orgânica sem olhar a estrutura de uma molécula? Posso dar uma aula de Química Orgânica só usando isso daqui ó (*sic*) [aponta para fórmula molecular].”

Ele afirma que não é possível estudar química orgânica conhecendo apenas a fórmula molecular, ou seja, a composição dos átomos de uma molécula. É necessário conhecer a estrutura da molécula que forma o composto e, então, saber como os átomos estão organizados para formar essa estrutura. Portanto, acreditamos que fica evidente a diferença entre conhecer uma molécula por sua composição e por sua estrutura. Como exemplos, podemos citar isômeros de função: a fórmula  $C_3H_6O$  nos indica algo composto por seis carbonos, três hidrogênios e um oxigênio e que, composicionalmente, é constituído pelos mesmos átomos. Porém, dependendo da estrutura e da organização espacial, podemos ter uma molécula de propanal (aldeído) ou propanona (cetona), que correspondem a substâncias distintas. Ao chegar no produto final em laboratório, conhecer apenas a composição não será suficiente, pois o pesquisador/professor precisará prever a estrutura ou, então, realizar testes que sugiram o que a substância contém para, assim, indicar a sua estrutura.

A seguir, apresentaremos um trecho em que identificamos formas de falar da zona molécula moderna. Entretanto, há algo interessante nele pois, segundo a estudante, existem, na mesma molécula, elétrons em movimento e outros que estão parados, ou seja, com posição definida na estrutura.

“R: Vocês falaram que nessa região aqui vai ter ressonância/ explica pra mim que não entendo muito bem o que vai ser essa ressonância? O que é que está acontecendo aqui de diferente que vocês resolveram fazer o ataque do outro lado? O que é que está acontecendo nesses grupos que é isso que vocês estão chamando de ressonância? E o que essa movimentação de elétrons faz aqui?

A: Essa segunda ligação vamos supor que ela não está fixa/ vai ter um pontilhado entre essas duas ligações/ o oxigênio de cima e o de baixo.

R: Então esses elétrons ficam transitando nessa região aqui?

A: Sim.

R: Eu não consigo definir onde eles estão?

A: Não.

R: E o que isso difere dessa região de cá?

A: Os elétrons ali estão fixos.

R: Eles ficam parados lá?

A: Tá (*sic*) mais fácil pra capturar.

R: Ah tá/ esse aqui tá (*sic*) mais fácil de capturar porque ele está parado/ e esses aqui estão em movimento.

A: Sim.”

Nesse trecho, estávamos discutindo sobre as escolhas de regiões em que ocorreriam os ataques dos grupos e, para justificar, a estudante afirmou que de um lado da molécula havia ressonância — ou seja, elétrons transitando na região — enquanto, do outro lado, estariam os elétrons fixos, em posições determinadas. Há, aqui, um entendimento que mistura compromissos de diferentes zonas, portanto, uma fala

híbrida. Podemos pensar que isso ocorre de maneira recorrente, visto que essas limitações da teoria de ressonância já haviam sido apontadas pelos estudiosos, conforme apresentamos nesse trabalho. Por vezes, há uma mistura da ressonância clássica — posições definidas para alternância dos elétrons — com a apropriação quântica, que são explicações da interpenetração de orbitais e funções de ondas.

### 6.2.2 – Aula de Orgânica na pós-graduação

A turma tinha doze estudantes presentes vinculados ao mestrado e doutorado do curso de Agroquímica na Universidade Federal de Lavras. Ao iniciar a aula, o professor informou que a síntese que trabalhariam naquele dia poderia parecer mais simples que o que eles estavam trabalhando naquele momento do semestre, mas que era muito importante, pois representava uma síntese real, já executada em laboratório.

Inicialmente, o professor também apresenta uma fala com compromisso da zona substancialismo:

“Essa é uma síntese linear/ igual a gente viu lá no começo da disciplina/ que obteria esse pozinho branco que vocês estão vendo/ ó (*sic*)! Ainda tá (*sic*) encharcado/ por causa do solvente que é usado para fazer a lavagem. **Esse pozinho branco aqui é essa molécula aqui ó (*sic*)!**”

Observamos que ele disse que o pó seria a molécula, e não a substância sintetizada ao final do processo, ressaltando, assim, um compromisso substancialista.

Há um trecho com discussão entre alunos (A), professor (P) e pesquisadora (R), semelhante ao da turma de graduação, para diferenciar as temperaturas de ebulição do álcool e do ácido carboxílico:

“P: Quem que vocês esperam que tenham (*sic*) uma temperatura de ebulição maior? O álcool ou o ácido carboxílico resultado dessa primeira síntese?”

A: O ácido carboxílico.

P: Por que o ácido carboxílico?

A: Porque vai formar dímeros.

P: Porque as interações são mais fortes né? Formam dímeros. Duas ligações de hidrogênio simultâneas. Então eu vendo a temperatura de ebulição de um e vendo a temperatura de ebulição do outro/ eu consigo concluir que a síntese deu certo/ **simplesmente analisando essa mudança de propriedade química que é em função da estrutura química que a molécula tem.**

R: E o que vocês avaliaram para concluir **que a estrutura do ácido carboxílico tem uma temperatura maior do que o álcool (sic)?**

A: **Porque o número de átomos de carbono não mudou. Então só mudou o grupo funcional.**

R: E mudando o grupo funcional quê que mudou (sic) pra temperatura de ebulição ficar maior?

A: **As interações aumentaram.**

R: Então pra variar a temperatura de ebulição/ você não variou só a estrutura/ você tem que variar a estrutura e?

A: As regiões.

R: **As regiões e depois as interações que elas geraram. OK?**

A: OK.”

Nesse trecho, ocorreu o uso de três zonas — substancialismo, composicionismo e interacionismo — em um mesmo intervalo de interação entre os participantes. Há, aqui, uma diferença notável no decorrer do diálogo: a facilidade dos estudantes em falar termos cientificamente adequados nas explicações. No trecho semelhante que ocorreu na turma de graduação, o professor precisou auxiliar os estudantes para que eles dissessem que havia formação de dímeros, o que não ocorreu aqui. Além disso, os estudantes conseguem relacionar que uma mudança de estrutura implicaria uma mudança de interações e, portanto, variações na temperatura de ebulição.

Outra discussão semelhante, mas com explicações distintas da graduação, foi travada para justificar o ataque que ocorre na reação em diferentes regiões da molécula:

“P: O quê que acontece (sic) também nesse agrupamento/nessa região da molécula?

A: Ressonância.

P: Ressonância. Os pares de elétrons não estão parados/ né? Beleza. Então agora me fala como essa reação aqui acontece em termos de mecanismo. Quê que vai acontecer (sic) aqui agora? Que produto vai ser gerado?

A: Um par de elétrons vai atacar a carbonila.

[Nesse momento, muitos alunos falaram simultaneamente e o professor os interrompeu]

P: Então/ Matheus começa/ e eu vou mandando interromper e passo pro outro.

A: **O par de elétrons vai atacar o antiligante que tá (sic) na ligação carbono-oxigênio/ vai desfazer a dupla e quando a dupla voltar/ vai expulsar o átomo de cloro.**

P: **Então por que ele não atacou de uma vez o antiligante da ligação carbono-cloro/ já que cê (sic) foi tão fundo assim?**

R: O quê que é (sic) atacar o antiligante?

A: **É porque toda ligação tem uma região que é onde os núcleos compartilham elétron e a região que os elétrons não circundam/ que realmente fica no oposto da ligação. E isso é o antiligante.**

R: Isso é o antiligante?

A: **É a região onde os elétrons não estão circulando/ é o antiligante da ligação.**

R: E como é que é o nome dessa região?

A: O orbital antiligante.

R: Ah! É o orbital antiligante. Entendi.

P: Richarde/ ele falou que atacou o orbital antiligante da ligação dupla carbono-oxigênio/ mas eu sei que aqui também tem um antiligante da ligação carbono-cloro. Por que que ele não atacou direto a ligação/ o antiligante/ o orbital antiligante da ligação carbono-cloro?

A: **O orbital antiligante do carbono-oxigênio é de menor energia quando comparado ao do carbono-cloro.**

P: Certo.

A: Aí dessa maneira é mais fácil acessar ela/ daí quebrar uma dupla do que (sic) uma ligação simples.

P: Certo. Então você teria isso daqui? Uma vez acessado o orbital antiligante... Quebra-se a dupla... Forma ligação e agora forma um intermediário com carga negativa.”

Observamos que os estudantes da pós-graduação fornecem explicações com maior aprofundamento teórico e utilizam um maior número de conceitos relacionados à química moderna para explicar uma mesma situação que os alunos da graduação. Ressaltamos que, nesse caso, os estudantes conseguem explicar as diferentes regiões da molécula em função das regiões prováveis de se encontrar ou não elétrons — ditas aqui orbitais ligantes e orbitais antiligantes. Ao serem questionados, os estudantes são capazes de dar explicações de maneira a explicitar seus modos de pensar que, nesse trecho, estavam vinculados à zona molécula moderna.

Há outros dois trechos que evidenciam as formas de falar desses estudantes usando conceitos de maneira mais aprofundada. O primeiro deles envolve o conceito de ressonância, e o segundo está relacionado a diferentes métodos para se identificar o produto formado na síntese.

### **Trecho 1:**

“R: E como é que ele faz esse movimento/ os elétrons/ por onde que eles fazem esse movimento?”

A: Pela nuvem eletrônica unida/ antiligantes e ligantes.

A: A ressonância é uma deslocalização de cargas numa região da molécula.

P: Por onde?

A: Onde se distribui a carga.

P: Como ela é distribuída?

A: Uai (*sic*)/ fazendo o diagrama das ligações. Seriam os orbitais mesmo se dobrando e dobrando em nós.

P: Uhum (*sic*)... Certo!”

### **Trecho 2:**

“P: Agora que a gente tá (*sic*) com o inseticida final/ que eu vi que vocês todos mostraram aí/ que é esse de cá/ como que vocês me propõem no laboratório um método **de detectar que essa molécula tá (*sic*) sendo formada?**

A: Aparecimento de precipitado.

P: Precipitado. E como comprovar que aquele precipitado é o produto?

A: Teste de solubilidade.

P: Mas esse teste de solubilidade se for pra concluir/ o que você pode fazer também?

A: Infravermelho.

A: Ultravermelho/ RMN...

P: Por que o ultravermelho? Já que entrou nesse detalhe. Por que o ultravermelho é uma boa ideia pra saber se essa molécula aqui foi convertida nessa? Como o ultravermelho ajudaria a gente a verificar se essa etapa realmente aconteceu?

A: Um grupo cromóforo ele vai apresentar **uma região que tem elétrons sigma e pi principalmente**. Esses elétrons pi com a absorção de radiação conseguem ter uma 'coloração' do composto. Então por meio dessa região ele consegue absorver uma certa radiação e emitir uma cor/ seria em outra radiação. Então seria um grupo que dá cor/ cromóforo.

R: **E aí para conseguir detectar isso você precisou de ter o que aqui? O anel?**

A: **O nitrogênio. O nitrogênio com as carbonilas."**

No segundo trecho, observamos três zonas: substancialismo, molécula moderna e compositorista. O que nos chamou a atenção nesse trecho é que os estudantes, em vez de testarem propriedades como temperatura de ebulição e solubilidade, o que foi comumente feito na turma de graduação, testaram o produto final com técnicas mais aprimoradas e souberam explicar por que seriam possíveis e viáveis esses testes.

### 6.3 – Considerações finais sobre a análise da atividade

Com os dados e análise das aulas, podemos perceber que, em uma única atividade, foi possível transitar entre diversas zonas do perfil conceitual de molécula, o que foi ao encontro do objetivo almejado. Isso nos leva a crer que, quando o professor tem ciência das variadas zonas, ele pode planejar atividades que façam emergir as diferentes formas de falar. Além disso, é necessário criar diferentes situações para que elas possam ser explicadas de maneiras distintas.

O contexto de ensino — graduação e pós-graduação — também influenciou na predominância de determinadas zonas. Parece-nos que os estudantes de pós-graduação, por possuírem um maior domínio sobre os conceitos de química moderna, conseguem pensar e falar suas soluções usando os compromissos da zona molécula moderna com maior frequência e em situações distintas. O professor regente tem ciência de que também adota formas de falar distintas nas turmas para os diferentes níveis de ensino — talvez seja por isso que notamos diferenças na fala dos estudantes. Isso indica que eles estão se apropriando da linguagem científica utilizada no processo de ensino-aprendizagem.

Lôbo (2008) indica que, para emergirem formas de falar de cada zona, é necessário um processo de mediação didática e linguagem específica, sendo que a mediação do professor pode promover a interação das várias linguagens e, como observado nesse trabalho, criar situações em que mais de uma zona seja utilizada em um mesmo trecho de interação.

Nesse sentido, cabe retomar que é necessário promover, nos estudantes, uma tomada de consciência de que há uma diversidade de modos de pensar e falar sobre um conceito, mas eles não se mostram igualmente poderosos para resolver problemas que encontramos. Torna-se, então, um objetivo crucial do ensino e da aprendizagem a promoção de uma visão clara, entre os estudantes, da demarcação entre formas de pensar e significados, bem como entre seus contextos de aplicação.



Ao final da aula na pós-graduação, foi debatido com os estudantes sobre as diversas formas de falar que ali estavam sendo utilizadas e, então, perguntamos a eles, de maneira provocativa, qual forma eles escolheriam usar a partir daquele momento.

Apresentaremos o trecho do diálogo que ocorreu:

“R: E a partir de hoje, qual que vocês escolhem usar?”

A: Depende.

R: O quê que (*sic*) depende? Do público que eu tô (*sic*) falando?

R: Então se depende do público/ se você vai num congresso de pós-graduação/ tudo que você vai explicar vai ser em níveis de orbital?

A: Tem que ser. Se você conseguir/ né?

A: Mas se você for dar uma aula pra alguém que tá (*sic*) entrando agora com Química Geral/ ou uma coisa assim/ engenharia/ pensa que eles não vão se aprofundar tanto/ a explicação não vai ser a mesma.

A: Ou até mesmo aqui dentro na pós a gente não tem que explicar/ eu tava montando a minha qualificação agora e eu fiz um mecanismo de síntese da minha molécula/ eu não precisei explicar em forma de orbitais.

R: E o Richarde falou uma coisa: ah! Depende da forma que eu quero falar/ e você disse que depende da representação.

A: Sim.

R: E aí o Richarde disse que existem também formas de representar de formas diferentes que eu não consigo representar na qualificação.

A: Às vezes colocar todos os orbitais/ como a gente tá (*sic*) falando por exemplo/ de ligações e orbitais/ a gente só expressa as ligações/ mas a gente sabe que os orbitais estão ali. Se você for expressar todos os orbitais às vezes/ ia ficar (*sic*) uma bagunça/ ia ficar (*sic*) confuso.”

Podemos observar que os estudantes estão cientes de que não há uma forma de falar que seja apropriada para todos os contextos e situações, que usamos diferentes formas em diferentes contextos, mesmo que se trate de uma mesma situação. Isso vai ao encontro do que o professor disse sobre usar formas distintas para turmas de diferentes níveis, além de corroborar a ideia dos perfis conceituais, que afirma que as zonas se tornam mais ou menos predominantes frente ao contexto de uso.

Essa atividade, realizada para este trabalho, se mostrou potencialmente satisfatória para trabalharmos diferentes zonas em uma mesma aula. Trabalhos futuros poderiam analisar atividades semelhantes em diversas subáreas da química para verificar quais zonas surgiriam e, até mesmo, analisar como as representações distintas favorecem o uso de zonas distintas.

## **CAPÍTULO 7**

---

### **Considerações finais**

Nosso trabalho de pesquisa, apesar de seguir as orientações metodológicas do programa de perfis conceituais, apresentou algumas peculiaridades que se mostraram coerentes e satisfatórias. Primeiramente, fizemos a elaboração de um perfil conceitual de molécula a partir de outro perfil conceitual inicialmente proposto. Nesse sentido, considerando a base sólida do trabalho anterior, não realizamos novamente os estudos que englobam obtenção de dados do domínio sociocultural, como história e filosofia da química envolvendo o conceito de molécula. Foram acrescentados o estudo dos livros didáticos de ensino superior em Química e estudos históricos inerentes ao entendimento do conceito.

Outra distinção desse trabalho é que o conceito foi estudado exclusivamente no âmbito acadêmico, pois entendemos que o conceito de molécula tenha seu uso limitado a esse meio. Porém, com a popularização da ciência que tem sido observada, acrescida da ampliação da divulgação científica por meio de mídias sociais, poderíamos estender esses estudos para verificar se teríamos novas zonas associadas ao uso pela população em geral.

Pelo fato de partir de um perfil já existente, propusemos um questionário baseado no perfil anterior e nas concepções de estudantes. Porém, ao aprofundarmos os estudos das concepções alternativas e dos livros didáticos, percebemos indícios de que o perfil adotado não seria suficiente para delimitar os dados empíricos. Esses indícios foram confirmados na análise inicial dos questionários e, então, sentimos a necessidade de propor um novo perfil conceitual para molécula. Já nesse momento, entendemos como a premissa metodológica do programa de análise dialogada dos dados é fundamental para o trabalho de construção do perfil conceitual.

Propusemos o perfil conceitual de molécula composto por seis zonas: primeiros princípios, substancialismo, átomos geometricamente arranjados, composicionista, interacionista e molécula moderna. O marco principal deste trabalho é a proposição das novas zonas composicionista e interacionista, além da remodelação das definições de zonas existentes no perfil anterior. A zona interacionista emergiu de conceitos centrais na química e completamente relacionados às definições de molécula — ligação química e interações intermoleculares. A zona composicionista emergiu de uma fragmentação da zona átomos geometricamente arranjados que, anteriormente, englobava diversos modos

de pensar e falar, mas que, após nossa pesquisa, percebemos que delimitavam distintos compromissos e, portanto, deveriam ser descritos em zonas diferentes. Parece-nos que composicionismo e estruturalismo são originários dos princípios fundamentais da química, como afirma Sason Shaik (2006): enquanto Lavoisier e Dalton empreenderam uma “revolução composicional” na química, Lewis encabeçou uma “revolução estrutural”.

Nesse sentido, entendemos que o perfil proposto neste trabalho vai ao encontro dos princípios básicos da química, o que demonstra sua relevância e importância para a área, não só para o ensino. Dessa forma, poderíamos estudar como as diferentes subáreas da química utilizam as diversas zonas, buscando entender se há a predominância de algumas formas de falar e modos de pensar que estariam associados a determinadas áreas.

Além disso, o estudo revela importantes aspectos sobre o conceito de molécula e as relações com o processo de ensino-aprendizagem no ensino de química e de conceitos abstratos que são modelados para serem ensinados. Observamos, também, que parece haver variações do uso de zonas em relação às diferentes representações de molécula. Há, então, uma interessante proposta de trabalho futuro que poderá verificar quais as representações possibilitam a emergência de determinadas zonas. Como o conceito de molécula é muito abstrato, há sempre uma demanda pelo uso das representações e modelos para seu ensino e estudos.

Acreditamos que determinados conteúdos abordados nas aulas podem favorecer o surgimento de algumas zonas do perfil. Porém, é necessário pensar que, na formação de um químico, é preciso que ele tenha a compreensão das diferentes formas de falar e pensar sobre molécula, e que alguns modos serão mais utilizados em detrimento de outros, dependendo do contexto de aplicação. Dessa forma, estima-se que estudantes do curso de Química, ao final do processo de formação, compreendam o perfil conceitual de molécula e utilizem as diversas zonas para enfrentar problemas distintos.

Ao analisar os questionários que foram aplicados com um recorte transversal no curso, contudo, observamos baixa frequência da zona molécula moderna mesmo em disciplinas mais adiantadas. Acreditamos que uma pesquisa mais aprofundada sobre o assunto seria necessária para verificar o que está sendo trabalhado nas aulas em relação

aos compromissos dessa zona, além de como está ocorrendo a apropriação, pelos estudantes, desses modos de falar e pensar sobre a molécula. Outra proposta interessante seria identificar o perfil conceitual de molécula na comunidade de professores do ensino superior e, possivelmente, estabelecer relações de predominância das zonas entre os seus perfis e os dos estudantes.

Por meio dos questionários aplicados aos estudantes, observamos a presença de um número significativo de respostas híbridas, o que revela que há, nesses indivíduos, mais de uma forma de falar e pensar sobre o conceito estudado. Em outras palavras, há uma polissemia presente nos indivíduos que coincide com a polissemia do conceito em estudo.

Ao analisar a frequência das zonas observadas nos questionários para diferentes disciplinas, identificamos que, para as todas elas, houve a predominância das zonas átomos geometricamente arranjados, composicionista e interacionista. Acreditamos que isso ocorre devido ao foco que é dado no ensino de química aos compromissos que remetem a essas zonas e são considerados base da química.

O professor ter consciência do perfil conceitual de molécula pode auxiliar no planejamento de atividades que promovam o entendimento das distintas formas de falar e modos de pensar para resolver problemas distintos. Não se deve, no entanto, limitá-lo a uma condição única de resolução, pelo contrário: deve-se enfatizar a polissemia e as possibilidades de utilização de diferentes formas de falar e pensar.

Nesse sentido, é necessário promover, também nos estudantes, a tomada de consciência de que há uma diversidade de modos de pensar e falar sobre um conceito, e que eles não se mostram igualmente poderosos para resolver problemas que encontramos. Torna-se, então, um objetivo crucial do ensino e da aprendizagem a promoção de uma visão ampla, entre os estudantes, dos diversos modos de pensar e seus significados, bem como entre seus contextos de aplicação.

Ao realizar uma proposta de atividade que trabalhasse com diferentes zonas em uma mesma aula, expandimos a proposta inicial de propor o novo perfil e realizamos sua aplicação. Identificamos que, de fato, surgem diversas formas de falar e modos de pensar no desenvolvimento de uma atividade. Observamos, porém, que esses modos de falar para resolver um mesmo problema são distintos, dependendo do nível de ensino.

Isso ressalta que o surgimento de zonas de um perfil conceitual está diretamente influenciado pelo contexto de uso.

Por fim, entendemos que esse trabalho, além de remodelar o perfil conceitual de molécula propondo as seis zonas, expande as possibilidades para o programa de pesquisa em perfis conceituais, uma vez que estabelece um perfil usado numa área de domínio da ciência — a química — evidenciando, também, a heterogeneidade do conceito nesse campo.

**REFERÊNCIAS**<sup>5</sup>

AGUILAR, M. B. R. ; MARCONDES, M. E. R.. Dificuldades de licenciandos em Química quanto aos aspectos fenomenológico, submicroscópico e simbólico. In: XII Encontro Nacional de Ensino de Química, 2016, Florianópolis. **Anais do XVIII ENEQ. Florianópolis: UFSC, 2016.** v. 1. p. 1-12.

AMARAL, Edenia Maria Ribeiro do. **Perfil conceitual para a segunda lei da termodinâmica aplicada as transformações químicas: a dinâmica discursiva em uma sala de aula de Química do Ensino Médio.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais – Faculdade de Educação. 2004.

ARAÚJO, Angélica Oliveira de. **O Perfil conceitual de calor e sua utilização por comunidades situadas.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais – Faculdade de Educação. 2014.

ATKINS, P. W.; JONES, Loretta. **Princípios de química:** questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 922p.

ATKINS, P. W.; DE PAULA, J.; SILVA, E.C.; MELLO CARDOSO, M.J.E; BARCIA, O. E.. **Físico-química.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC,2012. 574p. (v.1).

BAKHTIN, M. **Speech Genres & Other Late Essays,** ed. by Caryl Emerson and Michael Holquist, trans. by Vern W. McGee. Austin: University of Texas Press, 1986.

BAKHTIN, M. M. **Estética da criação verbal.** Tradução de M. E. Galvão. 3ed. São Paulo: Martins Fontes. 2000.

BEZERRA,B.H.S.; AMARAL,E.M.R.; Identificando Compromissos Epistemológicos,

---

<sup>5</sup> De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).



Ontológicos e Axiológicos em Falas de Licenciandos Quando Discutem uma Questão Sociocientífica. **Química nova na escola**. v.41, n 1, p.41-54, 2019.

CARRASCOSA, J. El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que las originan y/o mantienen. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, V.2(2): 183-208, 2005.

COUTINHO, F.A. **A construção de um perfil conceitual de vida**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais – Faculdade de Educação. 2005.

DE ANDRADE, J. B.; CADORE, S.; VIEIRA, P. C.; ZUCCO, C.; PINTO, A. C. Eixos mobilizadores em Química. **Química Nova**, n26, v3, 2003.

DE POSADA, J.A; Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. **Enseñanza de las Ciencias**: revista de investigación y experiencias didácticas, v. 11, n. 1, p. 12-19, 1993

DE POSADA, J.M.A. Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. **Enseñanza de las Ciencias**, 17 (2), p. 227-245, 1999.

DUARTE, H.A.; Ligações químicas: ligação iônica, covalente e metálica. Cadernos temáticos. **Química Nova na escola**. n4, 14-23, 2001.

EISBERG, R.; RESNICK, R., **Física quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Editora Campus, 2006.

EL-HANI, C. N.; MORTIMER, E. F. Multicultural Education, Pragmatism, and the Goals of Science Teaching. **Cultural Studies of Science Education**, vol. 2, n. 4, p. 657-687. 2007

FERNANDEZ, C; e MARCONDES, M. E; Concepções dos estudantes sobre Ligação Química. **Química Nova na Escola**, v. 24, p. 20-24, 2006.

FRANÇA, A. D. C. G.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. D. Estrutura Atômica e Formação dos Íons: Uma Análise das Ideias dos Alunos do 3º Ano do Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, p. 275-282, Novembro 2009.

FREIRE, M.S. **Perfil conceitual de química**: contribuições para uma análise da natureza da química e do seu ensino. 256 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.2017.

FREIRE, M. S.; TALANQUER, V. A.; AMARAL, E.M.R. Conceptual profile of chemistry: a framework for enriching thinking and action in chemistry education. **International journal of science education**, v. 41, p. 674-692, 2019.

FREIRE JR, O.; PESSOA JR, O., BROMBERG, JL., orgs. **Teoria Quântica**: estudos históricos e implicações culturais [online]. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

GILBERT, J.K.; WATTS,M. Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. **Studies in Science Education**, v.10,p.61-98, 1983.

JOHNSTONE, A. H. Macro and micro-chemistry. **The School Science Review**, 64-377,1982.

\_\_\_\_\_ Chemical education research in Glasgow in perspective. **Chemistry Education Research and Practice**, v.7, n.2, p.49-63, 2006.

\_\_\_\_\_ You Can't Get There from Here. **Journal of Chemical Education**, v.87,n.1, p. 22-29, 2009.

JUNQUEIRA, Marianna Meirelles. **Um estudo sobre o tema interações intermoleculares no contexto da disciplina de química geral**: a necessidade da superação de uma abordagem classificatória para uma abordagem molecular. 2017. Tese

(Doutorado em Ensino de Química) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

LEHNINGER, A L.; COX, MI M.; NELSON, D L. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014. 1298 p.

LÔBO, S.F. O ensino de química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 89-100, 2008.

MIRANDA, A.C.G; PAZINATO, M.S; BRAIBANTE, M.E.F. Concepções alternativas sobre forças intermoleculares: um estudo a partir das publicações da área de ensino, **X Congresso Internacional Sobre Investigación En Didáctica De Las Ciencias**, 2017.

MORTIMER, Eduardo Fleury. **Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais**. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo – Faculdade de Educação. 1994.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education**, vol. 4, n. 3, p. 265-287, 1995.

\_\_\_\_\_. Concepções Atomistas dos Estudantes. **Química Nova na Escola**, v.1, n.1, p. 23-26, 1995.

\_\_\_\_\_. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**. V. 1, p.20-39, 1996

\_\_\_\_\_. Para além das fronteiras da química: relações entre filosofia, psicologia e ensino de química. **Química Nova**, v. 20, n.02, p. 200-207. 1997.

MORTIMER, E. F.; AMARAL, L. O. F. A conceptual profile for molecule and molecular structure In: *Ars Mutandi: Issues in Philosophy and History of Chemistry*. 1 ed. Leipzig: Leipziger Universitäts Verlag, v. único, p. 89-101, 1999.

MORTIMER, E. F.. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2000

MORTIMER, E.F.; MACHADO,A.H; ROMANELLI,L.I.; A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**. V.23 -2, 2000.

MORTIMER, E. F. e SCOTT, P. H. **Meaning making in secondary science classrooms**. Maidenhead: Open University Press, 2003.

MORTIMER, E. F. ; BUTY, C. . What does "in the infinite" mean? The difficulties of dealing with the representation of the "Infinite" in a teaching sequence on Optics. In: ANDERSEN, C.; SCHEUER, N. ; PÉREZ ECHEVERRIA, M.P. e TEUBAL, E.V. 252 (Org.). **Representational systems and practices as learning tools**. 1 ed. Rotterdam, Holanda: Sense Publishers, 2009, v. 01, p. 225-242.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H.; EL-HANI, C.N. The Heterogeneity of Discourse in Science Classrooms: The Conceptual Profile Approach. In: Barry J. Fraser; Kenneth G. Tobin; Campbell J. McRobbie. (Org.). **Second International Handbook of Science Education**. 1ed. Dordrecht: Springer, v. 1, p. 231-246, 2012.

MORTIMER, E. F.; AMARAL, L. O. F. Contributions of the Sociocultural Domain to Build a Conceptual Profile Model for Molecule and Molecular Structure. In E. F. Mortimer & C. N. El-Hani, (Eds.). **Conceptual Profiles: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts**. New York: Springer. P. 103- 114 , 2014 .

MORTIMER, E. F, Scott, P.; EL-HANI, C. N., AMARAL, E. M. R. Conceptual profiles: theoretical-methodological bases of research program. In:MORTIMER, E. F. e EL-HANI, C. N. (Eds.). **Conceptual profiles: a theory of teaching and learning scientific concepts**. New York: Springer, p. 3-33, 2014 a.

MORTIMER, E. F, EL-HANI, C. N., SEPULVEDA, C., AMARAL, E. M. R., COUTINHO, F. A; SILVA, F. A. R. Methodological grounds of the conceptual profile research program. In E. F. Mortimer & C. N. El-Hani, (Eds.). **Conceptual Profiles: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts**. New York: Springer.p 67 - 102, 2014 b.

PIAGET, J. **O desenvolvimento do pensamento**. Equilibração das estruturas cognitivas. Lisboa: Dom Quixote. 1975.

POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W.; GERZOG, W. A. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 211-227. 1982.

POZO, J.I.; CRESPO, M.A.G. **Aprendizagem e o ensino de ciências**. São Paulo: Editora Artmed. 5ª Edição. 2009.

QUADROS, A. L. **Aulas no Ensino Superior: uma visão sobre professores de disciplinas científicas na licenciatura em Química da UFMG**. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010

ROCHA, W.R. Interações Intermoleculares. **Cadernos temáticos de Química Nova na Escola**. n.4, Maio, p. 31 – 36, 2001

RODRIGUES, A. M. e MATTOS, C. R. Reflexões sobre a noção de significado em contexto. **Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación**, v. 7, p. 323-333, 2007.

SEPULVEDA, C. A. **Perfil Conceitual de Adaptação: Uma Ferramenta para Análise de Discurso de Salas de Aula de Biologia em Contextos de Ensino de Evolução**. Tese de Doutorado. Universidade Federal Da Bahia E Universidade Estadual De Feira De Santana. 2010.

SILVA, F.A.R. **O perfil conceitual de vida: ampliando as ferramentas metodológicas para sua investigação.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais – Faculdade de Educação. 2006.

SOLOMONS, T. W. G; FRYHLE, C B. **Química orgânica.** 7. ed. Rio de Janeiro: LTC.2001. v.1

TABER,K.S. Misunderstanding the ionic bond. **Education in Chemistry**, v. 31, n. 4, p. 100-102, 1995.

TALANQUER, V. Chemistry education: Ten facets to shape us. **Journal of Chemical Education**, 90, 832–838, 2013.

VOGEL, A. I. **Química Analítica Qualitativa.** 5 ed. Mestre Jou, 1981.

VYGOTSKY, L.S. The genesis of higher mental functions. In J.V. WERTSCH (ed.) **The Concept of Activity in Soviet psychology.** Armonk-NY: Shape. 1981.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da Linguagem.** São Paulo: Martins Fontes. 2001.

WERTSCH, J. V. **Vygotsky and the social formation of mind.** Cambridge: Harvard University Press. 1985.

ZUCCO, C.; PESSINE, F. B. T.; ANDRADE, J. B. Diretrizes curriculares para os cursos de Química. **Química Nova**, 22, 3, 1999.

## ANEXOS

## Anexo 1 – Questionário utilizado na pesquisa

## QUESTIONÁRIO PARA PESQUISA DE DOUTORADO

Nome (opcional): \_\_\_\_\_

Curso: \_\_\_\_\_

Período: \_\_\_\_\_

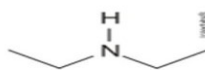
Disciplina: \_\_\_\_\_

**Instruções:** O questionário deve ser respondido sem consultas. Caso seja necessário utilize o verso e folha em anexo e identifique o número da questão respondida. Neste questionário você encontrará nove questões que envolvem diversas áreas de conhecimento da química e esperamos que você responda todas as questões.

**Q1)** As aminas pertencem a uma classe de moléculas orgânicas que, em muitos casos, possuem aplicação biológica. Abaixo, são apresentados exemplos dessas substâncias que, rotineiramente, são encontradas nos laboratórios de química.



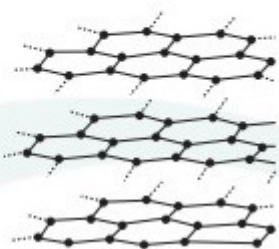


T.E = 77 ° C



T.E = 56 ° C

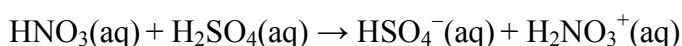
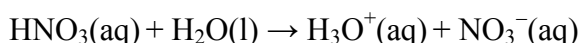
Apesar de serem constituídas pelo mesmo tipo e número de átomos, essas duas substâncias são diferentes. Como você explicaria a diferença nas temperaturas de ebulição tendo em vista as estruturas das moléculas apresentadas?

**Q2)** O carbono é um elemento cujos átomos podem se organizar sob a forma de diferentes alótropos, conforme indicado na figura a seguir.

Alótropos	Estrutura
Grafita <sub>(c)</sub>	
Diamante <sub>(c)</sub>	
Fulereno <sub>(c60)</sub>	

- É possível escolher um solvente adequado e, nele, dissolver o fulereno sólido, mas não é possível preparar uma solução de diamante ou de grafita, qualquer que seja o solvente testado. Considerando as estruturas dos sólidos, JUSTIFIQUE porque é possível solubilizar o fulereno, mas não é possível solubilizar diamante e grafite.
- Grafite e fulereno são sólidos pretos. Diamante é transparente. Como você poderia explicar essas diferenças?
- Como você explica o fato de o diamante ser um sólido com alta dureza e o grafite poder ser usado para escrever?

**Q3)** Abaixo podem ser observadas equações que representam o comportamento do ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) frente à água e frente ao ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), respectivamente.

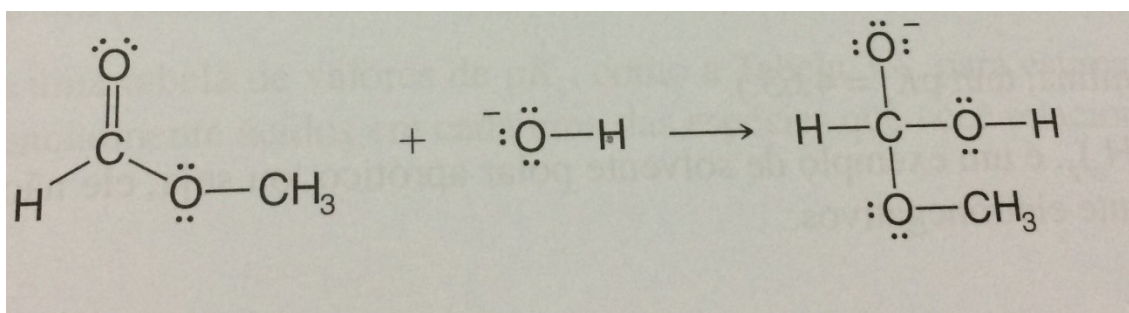


Após observar as equações, o que você poderia dizer sobre o comportamento ácido-base do ácido nítrico frente a essas duas substâncias? Explique.

**Q4)** Polímeros são macromoléculas formadas por unidades estruturais denominadas monômeros. Polímeros condutores têm atraído a atenção de vários pesquisadores. Estes materiais combinam propriedades típicas de plásticos com propriedades ópticas e elétricas de metais. Como você poderia explicar o fato de essas macromoléculas conduzirem corrente elétrica?

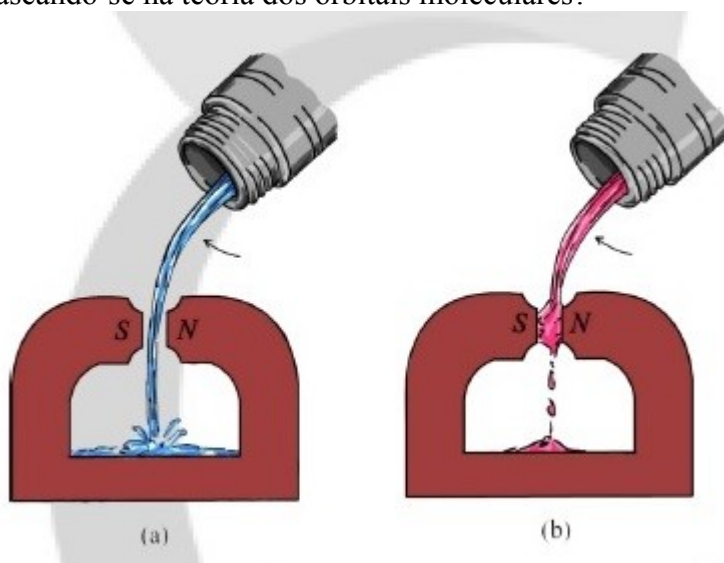


**Q5)** Demonstre o mecanismo que permitiu a obtenção do produto nesta etapa reação abaixo, a partir dos reagentes indicados.



**Q6)** a) Se você fizesse uma previsão do comportamento magnético dos líquidos oxigênio e nitrogênio, segundo o modelo de Lewis e da teoria de Ligação de Valência, o que poderia ser dito?

Abaixo tem-se ilustrações que representam, respectivamente, nitrogênio (indicado por “a”) e oxigênio (indicado por “b”) líquidos, sendo passados por um ímã. b) Como você poderia explicar a diferença observada para o comportamento de cada um dos líquidos, baseando-se na teoria dos orbitais moleculares?



**Q7)** a) Represente a estrutura do benzeno, usando diferentes estruturas de ressonância.

b) Represente a estrutura do benzeno, na qual a deslocalização dos elétrons  $\pi$  apareça como consequência natural da formação de uma nuvem eletrônica acima e abaixo do plano da molécula.

c) Quais as semelhanças e diferenças entre as representações feitas na letra a) e b)?

**Q8)** Quando dissolvemos um comprimido de antiácido, do tipo Sonrisal®, em água, acontece uma reação ácido-base entre ácido cítrico e bicarbonato de sódio, ambos oriundos do comprimido. Essa reação tem duas etapas: i) a formação do ácido carbônico

e ii) a decomposição do ácido carbônico formando gás carbônico e água. Explique porque a primeira etapa é rápida e a segunda é lenta.

**Q9)** Qual é a definição de molécula?

Todo material é constituído por moléculas? Justifique sua resposta.