

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
PARA A CIÊNCIA E A MATEMÁTICA

DÉBORA PIAI CEDRAN

**O PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA:
UM ESTUDO À LUZ DA TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS**

MARINGÁ - PR
2018

DÉBORA PIAI CEDRAN

**O PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA:
UM ESTUDO À LUZ DA TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Educação para a Ciência e a Matemática.

Orientadora: Profª. Dra. Neide Maria Michellan Kiouranis

**MARINGÁ - PR
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

C389p Cedran, Débora Piai
O processo de conceitualização da estequiometria: um estudo à luz da teoria dos campos conceituais / Débora Piai Cedran. -- Maringá, PR, 2018. 389 f.: il. color.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Neide Maria Michellan Kiouranis.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, 2018.

1. Química - Educação. 2. Teoria dos campos conceituais. 3. Invariantes operatórios. 4. Estequiometria. I. Kiouranis, Neide Maria Michellan, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática. III. Título.

CDD 23.ed. 540.7

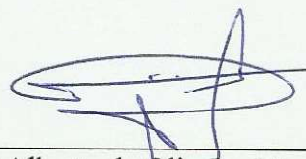
Márcia Regina Paiva de Brito - CRB-9/1267

DÉBORA PIAI CEDRAN

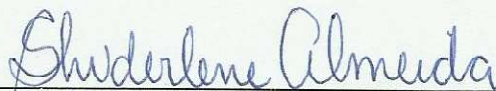
**O processo de conceitualização da estequiometria:
*um estudo à luz da teoria dos campos conceituais***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em *Ensino de Ciências e Matemática*.

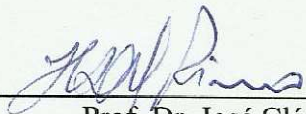
BANCA EXAMINADORA



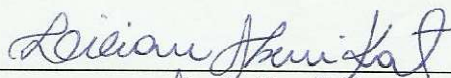
Prof. Dr. Carlos Alberto de Oliveira Magalhães Júnior
Universidade Estadual de Maringá – UEM



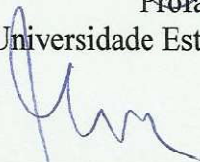
Profa. Dra. Shiderlene Vieira de Almeida
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR



Prof. Dr. José Cláudio Del Pino
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS



Profa. Dra. Lillian Akemi Kato
Universidade Estadual de Maringá – UEM



Prof. Dr. Marcelo Pimentel da Silveira
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Maringá, 28 de Agosto de 2018.

*Dedico este trabalho a todas as
pessoas que com ele contribuíram,
como fonte de inspiração,
motivação, alento, inquietação,
conhecimento...*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer a minha família por esta conquista, especialmente meu marido Jaime e meus filhos, Breno e Davi, pela compreensão nos momentos de falta e pelas lágrimas que me ajudaram a enxugar durante esta caminhada de aprendizagem. Também aos meus pais, Delva e Genezio - *o mio babbino caro* - (*in memoriam*) e meus irmãos, Leandro e Mariana, pelo incentivo às conquistas humanas.

À professora Neide, por dividir conosco seus saberes intelectuais, sociais, profissionais, humanos, entre tantos outros, fazendo-nos acreditar em nós e na possibilidade de construirmos dias melhores em uma sociedade mais justa.

Aos alunos do curso de Licenciatura em Química, que participaram desta investigação e que contribuíram de alguma forma, com discussões, disponibilidade, comprometimento, durante o processo de realização da pesquisa.

Aos meus amigos de grupo de estudos e pesquisa, especialmente, Jheniffer, Júlio, Vivian, Murillo, Danieli, Mateus, Tânia, Flavia, Brenno, Rosilene, Fernanda e Mariana, orientados pela professora Neide, que colaboraram com a produção deste trabalho, dividindo sonhos, possibilidades, cafés, sorrisos, tristezas e incertezas.

Agradeço, ainda, aos membros que participaram de minha banca de qualificação e defesa, Professores Marcelo Pimentel da Silveira, Lilian Akemi Kato, Shiderlene Vieira de Almeida, Edson José Wartha, José Claudio Del Pino, Carlos Alberto de Oliveira Magalhães Júnior e Marcelo Leandro Eichler, pelas valiosas contribuições conferidas ao meu trabalho, ainda mais, por dedicarem e impulsionarem a melhoria na educação brasileira.

“Eu poderia viver recluso numa
casca de noz e me considerar rei
do espaço infinito...”

Shakespeare, Hamlet, Ato 2, Cena 2, 1603.

RESUMO

A estequiometria integra um dos conhecimentos mais importante pertinente à química e por meio dela é possível compreender as relações entre as massas dos componentes em uma reação, as proporções nas e entre as substâncias, os aspectos da conservação entre partículas podem ser interpretados como um campo conceitual. A Teoria dos Campos Conceituais, desenvolvida por Gérard Vergnaud (1933), filósofo, matemático e psicólogo francês, é uma teoria cognitivista que se reporta a construção de conceitos como fundamento principal. Para Vergnaud o conhecimento de um indivíduo se constrói à medida que ele consegue estabelecer relações e conceitualizar determinadas situações ou problemas. Em consonância com a perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais, esta investigação de cunho qualitativo, teve como objetivo compreender o processo de conceitualização, mediante análise dos invariantes operatórios, mobilizados por estudantes da Licenciatura em Química, em situações que envolvem o campo conceitual da estequiometria. Para tanto, foram aplicadas a 28 estudantes de Licenciatura em Química, durante um curso de extensão, uma atividade prévia, seis situações e uma atividade final, de forma a abordar os principais conceitos no campo da estequiometria. Para a análise dos resultados, foram utilizados os preceitos da análise de conteúdo, e, para a interpretação, a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud. Os resultados permitiram compreender que, os estudantes, em geral, mobilizaram, de diversas formas, alguns invariantes pertinentes a este campo, como a conservação da matéria, as relações proporcionais, a massa molar, os símbolos e a unidade mol. No entanto, verificamos que, a complexidade das relações proporcionais, os símbolos químicos nas reações a conservação em relações estequiométricas e os aspectos conceituais da massa molar e da unidade mol, podem mobilizar invariantes que não revelem estas particularidades.

Palavras-chave: Construção de Conhecimento Químico; Teoria dos Campos Conceituais; Invariantes Operatórios; Cálculo Estequiométrico

ABSTRACT

Stoichiometry is one of the most relevant areas of chemistry. Its use makes it possible to understand the relationships between the component masses of a reaction, the proportions in and between substances, and how aspects of conservation between particles can be interpreted as a conceptual field. The Theory of Conceptual Fields, developed by Gérard Vergnaud (1933), French philosopher, mathematician and psychologist, is a cognitive theory that refers to the construction of concepts as its essential foundation. According to Vergnaud, the knowledge of an individual is constructed insofar as this person establishes relationships and conceptualizes certain situations or problems. In consonance with the perspective of the Theory of Conceptual Fields, this qualitative investigation aimed to understand the process of conceptualization by analyzing operational invariants mobilized by undergraduates of a chemistry teaching course in situations that involve the conceptual field of stoichiometry. To this end, a prior activity, six situations and a final activity were applied to 28 undergraduates of a chemistry teaching course, during an extension course, in order to address the main concepts in the field of stoichiometry. Content analysis was used to analyze the results and the Theory of Conceptual Fields to interpret them. The results show that the students generally mobilized, in different ways, some invariants relevant to this field, such as the conservation of matter, proportional relationships, molar mass, symbols and the mole (unit). However, the complexity of proportional relationships, chemical symbols in reactions to conservation in stoichiometric relationships, and conceptual aspects of molar mass and the mole (unit) can mobilize invariants that do not reveal these particularities.

Key words: Construction of Chemistry Knowledge; Theory of Conceptual Fields; Operational Invariants; Stoichiometric Calculation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Organização dos fundamentos que embasam a TCC.....	19
Figura 2: Representação das relações entre os conceitos e as situações para um Campo Conceitual...	22
Figura 3: Integração dos ingredientes dos esquemas	42
Figura 4: Uma alternativa ao triângulo	45
Figura 5: Tabela de pesos atômicos de Dalton.....	70
Figura 6: Determinações de Perrin para a constante de Avogadro	75
Figura 7: A estequiometria representada como um campo conceitual.....	80
Figura 8: Sistematização do processo de análise dos resultados para a conservação da matéria.....	115
Figura 9: Distribuição percentual dos invariantes operatórios em relação à conservação em processos físicos	135
Figura 10: Distribuição percentual dos invariantes operatórios em relação à conservação das massas em reações.....	136
Figura 11: Distribuição percentual dos invariantes operatórios em relação à conservação da matéria em representações e fórmulas	137
Figura 12: Sistematização do processo de análise dos resultados para a proporção	142
Figura 13: Distribuição percentual dos invariantes operatórios em relação às formas de expressar a proporcionalidade.....	171
Figura 14: Sistematização do processo de análise dos resultados para a massa molar	175
Figura 15: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar a massa molar.....	190
Figura 16: Sistematização do processo de análise dos resultados para os símbolos químicos	194
Figura 17: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar os símbolos.....	209
Figura 18: Sistematização do processo de análise dos resultados para a unidade mol	212
Figura 19: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar a unidade mol	221
Figura 20: Sistematização do processo de análise dos resultados para a estequiometria.....	222
Figura 21: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar a conservação da matéria	228
Figura 22: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar as relações proporcionais	236
Figura 23: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar a massa molar.....	241
Figura 24: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar os símbolos químicos.....	245
Figura 25: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar o mol	250

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Princípios e influências sobre o atomismo e as leis ponderais de Dalton	69
Quadro 2: Atividades aplicadas no piloto	85
Quadro 3: Questões referentes à caracterização dos sujeitos e as impressões sobre a estequiometria e sua importância no ensino de química	87
Quadro 4: Perfil dos sujeitos da pesquisa.....	89
Quadro 5: Atividade prévia sobre os conceitos que envolvem a estequiometria	91
Quadro 6: Resumo das situações e atividades.....	92
Quadro 7: Questões sobre o experimento 1 situação 1	94
Quadro 8: Questões sobre o experimento 2 situação 1	95
Quadro 9: Questões sobre o experimento 1 situação 2	96
Quadro 10: Questões sobre o experimento 1 situação 3	97
Quadro 11: Questões sobre o experimento 2 situação 3	98
Quadro 12: Questões sobre o texto 1 situação 4	99
Quadro 13: Questões sobre o experimento 1 situação 5	101
Quadro 14: Questões sobre o experimento 2 situação 5	101
Quadro 15: Questões sobre definição de mol 1 situação 5.....	102
Quadro 16: Questões sobre o experimento 1 situação 6	103
Quadro 17: Atividade de fechamento sobre os conceitos que envolvem a estequiometria.....	104
Quadro 18: Participação dos estudantes nas atividades (A) e situações (S).....	105
Quadro 19: Relação entre situação/atividade analisada e conceito	108
Quadro 20: Invariantes operatórios expressos para a mudança de estado físico.....	116
Quadro 21: Invariantes operatórios expressados para as relações entre massas em reações químicas	123
Quadro 22: Invariantes operatórios expressos, por meio das representações e símbolos, para a conservação	130
Quadro 23: Invariantes operatórios mobilizados para proporções em relações diretas (mesma unidade)	146
Quadro 24: Invariantes operatórios mobilizados para proporção em relações indiretas (unidades diferentes).....	153
Quadro 25: Invariantes operatórios mobilizados para proporção com uso de propriedades intensivas	160
Quadro 26: Invariantes operatórios para proporção na determinação de fórmulas químicas	167
Quadro 27: Invariantes operatórios expressados para massa molar como um padrão estabelecido ...	179
Quadro 28: Invariantes operatórios expressados para massa molar e sua relação com números finitos	184
Quadro 29: Invariantes operatórios expressados para os símbolos em fórmulas químicas.....	197
Quadro 30: Invariantes operatórios expressados para os símbolos em equações químicas	204
Quadro 31: Invariantes operatórios expressados para mol como unidade de medida.....	214
Quadro 32: Invariantes operatórios expressados para mol e a constante de Avogadro: relações entre o macro e as partículas	217
Quadro 33: Invariantes operatórios expressados para a conservação da matéria na estequiometria...	224
Quadro 34: Invariantes operatórios expressados para as relações proporcionais na estequiometria ..	231
Quadro 35: Invariantes operatórios expressados para a massa molar na estequiometria	238
Quadro 36: Invariantes operatórios expressados para os símbolos na estequiometria.....	242
Quadro 37: Invariantes operatórios expressados para o mol e a constante de Avogadro na estequiometria	247

Quadro 38: Implicações sobre a análise dos invariantes operatórios mobilizados nas situações de conhecimentos específicos	254
Quadro 39: Implicações sobre a análise dos invariantes operatórios mobilizados nas situações sobre estequiometria	258

SUMÁRIO

RESUMO	07
INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 1: TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS: VISITANDO SEUS PRINCIPAIS FUNDAMENTOS E PERSPECTIVAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	19
1.1 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS	19
1.2 A PERSPECTIVA DOS CAMPOS CONCEITUAIS E DOS CONCEITOS.....	21
1.3 OS ASPECTOS CONSTITUINTES DOS CONCEITOS NA TCC: AS SITUAÇÕES (S), OS INVARIANTES (I) E AS REPRESENTAÇÕES LINGUÍSTICAS (L)	27
1.3.1 O conjunto das SITUAÇÕES.....	27
1.3.2 A noção de ESQUEMAS e o conjunto dos INVARIANTES OPERATÓRIOS.....	30
1.3.2.1 A noção de esquema como um todo funcional dinâmico.....	32
1.3.2.2 A noção de esquema como uma organização invariante da conduta para um determinado tipo de situação.....	34
1.3.2.3 Os ingredientes dos esquemas.....	36
1.3.2.4 Os esquemas como funções.....	43
1.3.3 O conjunto das REPRESENTAÇÕES	44
1.4A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS: ALGUMAS PERSPECTIVAS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS	47
CAPÍTULO 2: A ESTEQUIOMETRIA COMO UM CAMPO CONCEITUAL	64
CAPÍTULO 3: CONTEXTUALIZANDO A PESQUISA	81
3.1 A PESQUISA QUALITATIVA.....	81
3.2 O PROCESSO DE VALIDAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS PARA A INVESTIGAÇÃO	84
3.3 SUJEITOS E CONTEXTO DE APLICAÇÃO DA PESQUISA.....	86
3.4 CONTEXTUALIZANDO AS SITUAÇÕES E ATIVIDADES DA INVESTIGAÇÃO.....	90
3.5 EMPREGANDO A ANÁLISE DE CONTEÚDO	107
CAPÍTULO 4: APRESENTAÇÃO E REFLEXÕES SOBRE OS RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO	112
4.1 A CONSERVAÇÃO DA MATÉRIA NO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA	112
4.1.1 A conservação da matéria em mudanças de estado físico.....	115
4.1.2 As relações de conservação entre massas de reagentes e produtos.....	121
4.1.3 A conservação das partículas, por meio de representações e símbolos.....	127
4.1.4 Considerações sobre a conservação da matéria.....	135
4.2 AS RELAÇÕES PROPORCIONAIS NO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA	138

4.2.1 As relações proporcionais diretas.....	142
4.2.2 As relações proporcionais indiretas (unidades diferentes).....	151
4.2.3 As relações proporcionais com uso de propriedades intensivas.....	158
4.2.4 As relações proporcionais na determinação de fórmulas químicas.....	166
4.2.5 Considerações sobre as relações proporcionais.....	170
4.3 AS MASSAS MOLARES NO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA.....	172
4.3.1 A massa molar como um padrão estabelecido.....	175
4.3.2 A massa molar e sua relação com números finitos.....	183
4.3.3 Considerações sobre o conceito de massa molar.....	189
4.4 OS SÍMBOLOS QUÍMICOS NO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA.....	191
Por meio da categorização dos invariantes operatórios ponderamos sobre a sua frequência, em meio às respostas dos estudantes, o que será apresentado e discutido na sequência.....	194
4.4.1 Os símbolos químicos em fórmulas químicas.....	195
4.4.2 Os símbolos químicos em equações químicas.....	202
4.4.3 Considerações sobre os símbolos químicos.....	208
4.5 O MOL E A CONSTANTE DE AVOGADRO NO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA.....	210
4.5.1 O mol como uma unidade de medida.....	213
4.5.2 O mol e a constante de Avogadro: relações entre o macro e as partículas.....	217
4.5.3 Considerações sobre o mol.....	220
4.6 A CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA.....	221
4.6.1 A conservação da matéria na estequiometria.....	223
4.6.2 As relações proporcionais na estequiometria.....	230
4.6.3 A massa molar na estequiometria.....	237
4.6.4 Os símbolos na estequiometria.....	241
4.6.5 O mol na estequiometria.....	246
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	252
BIBLIOGRAFIA.....	262
APÊNDICE A – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	276
APÊNDICE B – Situação 1: Determinação de proporções entre substâncias em reações.....	278
APÊNDICE C – Situação 2: Determinação da conservação das massas em uma reação.....	280
APÊNDICE D – Situação 3: Determinação de fórmulas por meio dos padrões de massas.....	282
APÊNDICE E – Situação 4: O uso dos símbolos químicos e os padrões de massa.....	284
APÊNDICE F – Situação 5: A constante de Avogadro e a unidade mol.....	288
APÊNDICE G – Situação 6: A estequiometria.....	291

APÊNDICE H – Categorização das repostas quanto à conservação da matéria	292
APÊNDICE I – Categorização das repostas quanto à proporção.....	313
APÊNDICE J – Categorização das repostas quanto à massa molar e padrão	338
APÊNDICE K – Categorização das repostas quanto ao mol e a constante de Avogadro	349
APÊNDICE L – Categorização das repostas quanto aos símbolos.....	356
APÊNDICE M – Categorização das repostas quanto à estequiometria.....	369

INTRODUÇÃO

A presente investigação é fruto do interesse sobre a aprendizagem em estequiometria, devido às dificuldades encontradas e relatadas, por alunos, ao longo do processo de escolarização. De certa forma, sempre tive familiaridade com tal conhecimento, até porque, durante a minha própria formação no Ensino Médio, ficamos praticamente um ano todo, balanceando reações químicas, “contando” infinitos átomos, moléculas, por meio da Constante de Avogadro, e calculando incansavelmente massas para qualquer entidade presente em uma reação.

Certamente esta configuração de ensino, até então construída, auxiliou-me a ingressar no Ensino Superior, bem como, a vencer suas etapas.

Logo na sequência, a iniciação na docência me aproximou novamente da estequiometria como tema central, desta vez, em aulas particulares sobre diversos temas a alunos de escolas privadas e públicas, no entanto, calhava de a estequiometria ser o ponto chave da maioria das aulas, o que exigia a resolução de infindáveis listas de exercícios. No entanto, nem sempre o resultado era positivo, o que me preocupava.

Somente após um longo período de docência, no Ensino Médio e Superior, consegui perceber que a estequiometria não depende somente da resolução de algoritmos, pois ela guarda relações complexas como: a dependência entre a reatividade dos reagentes, os estados físicos de todas as substâncias envolvidas, os produtos possíveis desta reação, os meios nos quais essas substâncias se encontram. Pensando apenas nos parâmetros qualitativos, essas e muitas outras relações se estabelecem em uma reação, assim, refletir sobre elas pode não ser tão simples. Ao longo do próprio desenvolvimento da química, essas construções se deram concomitantemente, logo, os aspectos explicativos nunca se deram em detrimento dos dados empíricos ou da matematização da química. Nesse sentido, a estequiometria se consolidou a partir da sistematização dessas vertentes.

Assim, mesmo a estequiometria sendo considerada relevante para a compreensão da química (BOUJAOUDE; BARAKAT, 2003; SANTOS; SILVA, 2014; BATINGA; TEIXEIRA, 2014), poucos trabalhos que versam sobre o tema foram encontrados, e a grande maioria restringe-se a enumerar as dificuldades dos alunos, como, a dependência da visão microscópica paralela a macroscópica, deixando de lado propostas que auxiliem nesta relação, ou ainda que compreendam como esses conhecimentos são construídos.

Gomes e Macedo (2007), em pesquisa realizada, afirmam que a maioria dos alunos entrevistados (101) sente dificuldades em compreender a estequiometria (mais de 70% dos alunos) e consideraram o conteúdo sem aplicação no dia a dia (65,2% dos alunos). Dentre os alunos entrevistados há de se contar ainda que estavam presentes alunos do ensino técnico em química, que compuseram o percentual de sujeitos participantes da pesquisa. Esse dado se mostra relevante, pois, até os alunos que supostamente estudam a química por afinidade, apresentam opiniões que convergem com a maioria dos alunos pesquisados. As pesquisadoras indicaram principal causa de dificuldade da aprendizagem, a falta de conhecimentos básicos de química e matemática, além de mencionarem o desenvolvimento cognitivo necessário para a aprendizagem.

Santos e Silva (2014), também relataram algumas dificuldades apresentadas por alunos do Ensino Superior, de um curso de Licenciatura em Química, na compreensão deste tema, apontando como fatores preponderantes, dificuldades em estabelecer relações entre os aspectos simbólicos, atômicos e explicativos da química. Já Agung e Schwatz (2007), discutem que as dificuldades encontradas na aprendizagem da estequiometria se remetem à falta de inserção de aspectos conceituais sobre o tema, o que acaba acarretando um bom desempenho na resolução de questões que preconizam algoritmos, mas baixo entendimento conceitual destes problemas.

Neste contexto, Gérard Vergnaud, nascido em 1933, psicólogo, matemático e filósofo francês, afirma que, a aprendizagem se dá por meio da conceitualização (PLAISANCE; VERGNAUD, 2003; VERGNAUD, 1990; VERGNAUD, 2013a), e que o processo de conceitualização demanda a identificação de objetos (materiais ou não), com suas propriedades e relacionamentos. Partindo, principalmente, desta concepção, Vergnaud desenvolveu a Teoria dos Campos Conceituais, que se tem mostrado relevante na compreensão do desenvolvimento cognitivo de conceitos em diversas áreas da matemática e ciências da natureza, especialmente a física (ACIOLY-RÉGNIER; MONIN, 2009; BUENO FILHO, 2010; FIGUEROA; OTERO, 2011; LEDESMA, 2012; PARISOTO; MOREIRA; MORO, 2013).

Neste contexto, é proposta deste estudo investigar questões que dizem respeito à maneira como determinados conceitos são construídos em química, mais especificamente, os conceitos pertinentes ao ensino de estequiometria. Para isso, esta pesquisa foi elaborada utilizando os preceitos da Teoria dos Campos Conceituais, com o intuito de responder a seguinte problemática de investigação:

Que conceitualizações são mobilizadas por estudantes da Licenciatura em Química, em situações, em fundamentos pertinentes ao campo conceitual da estequiometria?

Também elaboramos como questionamentos auxiliares, que contribuíram no entendimento do processo de conceitualização, as seguintes problemáticas:

✓Que invariantes operatórios são mobilizados, pelos estudantes, durante a resolução das problemáticas, contidas nas situações, que envolvem a estequiometria?

✓Que invariantes operatórios podem facilitar ou dificultar a conceitualização da estequiometria?

Para respondermos a esses questionamentos, percorremos o seguinte objetivo:

De maneira geral esta investigação tem como enfoque compreender o processo de conceitualização, mediante análise dos invariantes operatórios, mobilizados por estudantes da licenciatura em química, em situações que envolvem o campo conceitual da estequiometria.

Assim, de forma a englobar o objetivo desta investigação, organizamos o texto desta tese, iniciando com os pressupostos teóricos da Teoria dos Campos Conceituais, discutidos por Vergnaud, como, campos conceituais, conceitos, situações, esquemas, invariantes operatórios e as representações. Também procuramos, ao final desta seção, abordar o contexto da utilização e da relevância desta teoria em pesquisas no ensino de ciências.

No capítulo 2 apresentamos, sob uma perspectiva histórica, o campo conceitual da estequiometria, iniciando pela proposição do termo estequiometria em 1792 por Richter até a sua consolidação com a aceção da IUPAC para o termo estequiometria.

Já o terceiro capítulo é constituído do arcabouço metodológico utilizado na realização da pesquisa, no qual enfatizamos a abordagem qualitativa calcada na Teoria dos Campos Conceituais. Ainda neste capítulo, descrevemos o universo da pesquisa, caracterizando os estudantes participantes, o contexto de aplicação da pesquisa, as atividades e situações desenvolvidas, apresentando, posteriormente, a forma como se deu a coleta, análise e interpretação dos dados.

Após a contextualização da pesquisa, apresentamos no quarto capítulo, os dados e reflexões sobre os resultados, em que foram discutidos alguns conceitos que permeiam a

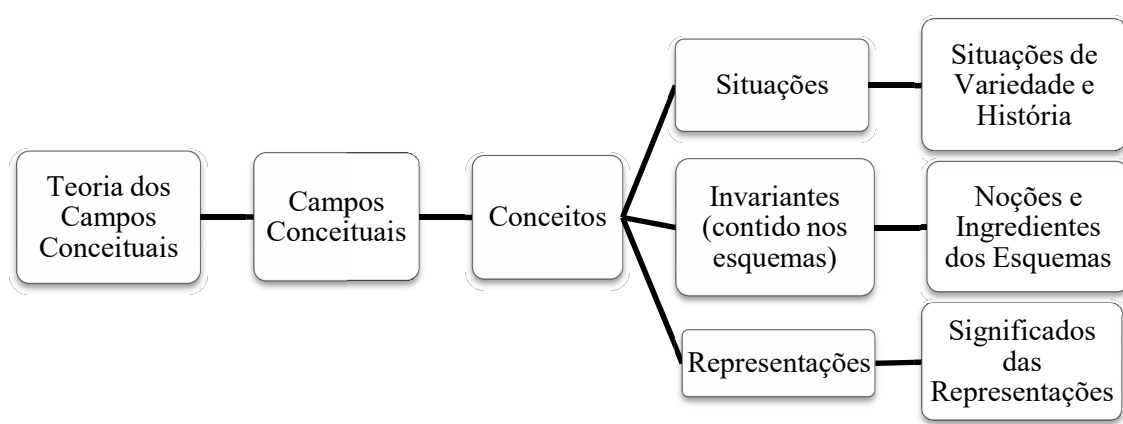
estequiometria: a conservação da matéria, as relações proporcionais, a massa molar, os símbolos químicos e o mol.

No quinto capítulo, tecemos nossas considerações finais em relação ao processo de conceitualização da estequiometria pelos estudantes participantes, sob o ponto de vista da Teoria dos Campos Conceituais.

CAPÍTULO 1: TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS: VISITANDO SEUS PRINCIPAIS FUNDAMENTOS E PERSPECTIVAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Neste capítulo apresentamos os principais fundamentos, elaborados e discutidos por Gérard Vergnaud, que embasam a Teoria dos Campos Conceituais, como, campos conceituais, conceitos, situações, esquemas, invariantes operatórios e as representações, como demonstrado na Figura 1, e que serviram de sustentação para a realização deste estudo.

Figura 1: Organização dos fundamentos que embasam a TCC



Fonte: Autoria Própria.

Também buscamos trazer alguns apontamentos sobre as pesquisas em ensino de ciências que ressaltam as contribuições da Teoria dos Campos Conceituais no estudo, elaboração e compreensão de práticas para o ensino de ciências.

1.1 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC), desenvolvida por Gérard Vergnaud (1933), filósofo, matemático e psicólogo francês, é uma teoria cognitivista que se reporta a construção de conceitos como seu fundamento principal. Para Vergnaud o conhecimento de um indivíduo se constrói à medida que ele consegue estabelecer relações e conceitualizar determinadas situações ou problemas, que necessitam de teoremas de níveis diferentes (VERGNAUD, 1990). Nesse sentido, a questão da conceitualização perpassa não somente por questões de caráter teórico, pensando no verbo conceitualizar, mas se dá por meio de uma estreita dialetização entre o empírico e o teórico, e isso se evidencia não somente na construção dos

conceitos pelos sujeitos, mas também na construção histórica dos princípios (VERGNAUD, 1990).

Em 1979, Vergnaud se remetia a esta questão da necessidade da conceitualização no que diz respeito à aritmética, que carecia de empenho, pois ficava em segundo plano com relação à geometria e álgebra, tornando seu ensino e aprendizagem vinculados ao “senso comum” (VERGNAUD, 1979, p. 263).

Ainda com relação à aritmética, Vergnaud (1979), afirmava que a capacidade dos alunos em calcular nem sempre é satisfatória, mas não podemos acreditar que os problemas estão, em si, no ato de calcular. Para ele, a maioria das dificuldades estão nos conceitos, ou na falta deles, que envolvem esta operacionalização. Como exemplo disso, podemos dizer que o ato de pensar o número em sua compreensão mais simplória exige conceitualizações, assim como na química, pensar no símbolo de um elemento químico também demanda conceitualização.

Dessa forma, a TCC “trata-se de uma teoria psicológica do conceito, ou melhor, da conceitualização do real, que permite situar e estudar as filiações e rupturas entre conhecimentos, do ponto de vista de seu conteúdo conceitual” (VERGNAUD, 1990, p. 1). Tem também como foco, estruturar princípios sobre a aprendizagem e desenvolvimento de competências que são elaboradas em diversos âmbitos, como na escola e seu meio externo (VERGNAUD, 1990; 2009). Alguns autores interpretam a TCC como:

A teoria dos campos conceituais, que não é uma teoria didática em si mesma, nos permite abordar a aprendizagem escolar em termos de suas características de duração e não-linearidade. Isso nos permite ver dentro do subsistema dos estudantes, a "caixa preta" do sistema didático (FLUCKIGER, 2005, p. 64, tradução nossa)¹.

[...] cognitivista e interacionista, pois explica o processo mental da conceitualização do real (as interações das estruturas cognitivas prévias com a estrutura conceitual do conhecimento através de situações-problema), como resultado das interações na sala de aula, onde alunos e professores trazem suas compreensões de mundo (TAUCEDA; PINO, 2014, p. 258)

A Teoria dos Campos Conceituais tenta explicar o desenvolvimento dos processos de conceitualização, partindo do princípio de que a maior parte dos nossos conhecimentos são formados por competências (informações e

¹Citação original: The theory of conceptual fields, which is not a didactic theory per se, allows us to approach school learning in terms of its characteristic duration and nonlinearity. It allows us to see inside the pupil subsystem, the “black box” of the didactic system.

habilidades) que estão disponíveis sob a forma de esquemas (LIMA; SANTOS, 2015, p. 60).

Considerando as interpretações indicadas por diversos autores, a TCC pode contribuir no que diz respeito à compreensão da aquisição de conhecimentos pelos indivíduos, o que é de grande valia para a educação, pois, por meio deste entendimento, os profissionais desta área podem promover (VERGNAUD, 2013a) situações das quais os campos de conceitos sejam mediados, considerando a diversidade da sala de aula. Assim, além de poder auxiliar na organização das intervenções pedagógicas, a TCC tem como seus dois objetivos principais:

(1) descrever e analisar a complexidade progressiva, a longo e médio prazo, das competências matemáticas que os alunos desenvolvem dentro e fora da escola, e (2) estabelecer melhores conexões entre a forma operacional de conhecimento, que consiste na ação no mundo físico e social e na forma predicativa do conhecimento, que consiste nas expressões linguísticas e simbólicas desse conhecimento (VERGNAUD, 2009, p. 83, tradução nossa)².

Isto posto, a TCC se faz valer em um contexto em que várias proposições e conceitos são previstos, de forma que esta teoria possa ser compreendida. Assim, discutiremos alguns fundamentos que a embasam, como: campos conceituais, conceitos, situações, esquemas, invariantes operatórios e as representações.

1.2 A PERSPECTIVA DOS CAMPOS CONCEITUAIS E DOS CONCEITOS

Um campo conceitual pode ser pensado primeiramente, como um conceito, por exemplo, a densidade. No entanto, a que se refere à ideia de densidade? Seria possível explicá-la usando uma definição por si própria, ou seja, sem elementos que constituem outros conceitos? Assim, parece-nos adequada a utilização do termo “campos conceituais” quando nos referimos a um fundamento, pois, um conceito nunca está isolado e sempre é formado em relação a outros conceitos e situações (VERGNAUD, 1982; 1990; 2013a).

Apesar da expressão, campo conceitual, remeter-nos a noção de conceito, Vergnaud (1982; 1990; 2013a) assume que um campo conceitual pode ser considerado em sua primeira

²Citação original: (1) to describe and analyse the progressive complexity, on a long- and medium-term basis, of the mathematical competences that students develop inside and outside school, and (2) to establish better connections between the operational form of knowledge, which consists in action in the physical and social world, and the predicative form of knowledge, which consists in the linguistic and symbolic expressions of this knowledge.

premissa como um conjunto de situações, e posteriormente é avaliado em termos de conceitos e teoremas. Essas instâncias não devem ser pensadas como um processo, do qual o produto final é a formalização dos conceitos, pois eles são desenvolvidos, mesmo que fragilmente, por meio das situações (VERGNAUD, 2013a). Concomitantemente, infere que um campo conceitual deve ser interpretado como “um conjunto de situações, cujo domínio requer uma variedade de conceitos, procedimentos e representações simbólicas, bem conectados uns com os outros” (VERGNAUD, 1982, p. 36, tradução nossa)³, dessa forma, não pode ser pensado somente como um fundamento teórico. Se assim pudermos representar, as relações entre os conceitos e situações que compõem um campo de conceito podem ser interpretadas, como na Figura 2:

Figura 2: Representação das relações entre os conceitos e as situações para um Campo Conceitual



Fonte: Autoria Própria.

Nesse caso, como é representado na Figura 2, um campo de conceito é delimitado por vários conceitos definidos socialmente e que são aplicados em diversos eventos por um indivíduo. Esses conceitos, por sua vez, foram desenvolvidos por meio de circunstâncias passadas e serão necessários para compreensão de novas situações. Um campo conceitual, portanto, pode ser pensado em termos de produção do conhecimento científico, no que diz respeito aos problemas da ciência, bem como, advindo da produção intelectual de qualquer indivíduo, procedente das situações cotidianas. Nesse sentido, o próprio “conceito de número nem existiria se o homem não tivesse encontrado problemas de medição” (VERGNAUD, 1979, p. 264, tradução nossa)⁴, o que demonstra o pensamento do autor referente a

³Citação original: Cognitive and Developmental Psychology and Research in Mathematics Education: Some Theoretical and Methodological Issues.

⁴Citação original: The concept of number would not even exist if man had not met problems of measurement.

indissociação do conhecimento, que, por fim, deve ser tomado como oriundo dos problemas gerais encontrados.

Assim, para que essa ideia possa ser contextualizada, Vergnaud se utiliza de alguns exemplos, dos quais, o mais presente em seus escritos é o campo conceitual das estruturas aditivas (1982; 1990; 2009; 2013b).

O campo conceitual das estruturas aditivas pode ser compreendido como um agrupamento de situações nas quais seja necessária a utilização de um conjunto de conceitos e teoremas que permitam analisar tal problema no campo da adição, formando um sistema, como por exemplo, “os conceitos de medida, transformação, comparação, diferença e inversão, os conceitos de operações unitárias e binárias, os conceitos de função e a abscissa” (VERGNAUD, 1982, p. 36, tradução nossa)⁵ entre outros.

Como no campo conceitual da adição, é possível indicar outros exemplos de campos conceituais de outras áreas das ciências. Nesse sentido, Lameu (2014), propõe alguns conceitos que englobam o campo conceitual da dualidade onda-partícula, como, modelo ondulatório, ondas eletromagnéticas, modelo quântico, interferência, difração, Efeito Fotoelétrico e o Princípio da Complementaridade, dentre outros. Para o campo conceitual da astronomia, Mota e Rezende Júnior (2012), compreendem que entre os conceitos pertinentes estão à gravidade, gravitação, formação de estrelas, buracos negros, calor, luz, espectros, produção de campos eletromagnéticos, radiações eletromagnéticas e pesquisas espaciais.

Para o campo conceitual da radioatividade, Scheffler e Del Pino (2013) indicam alguns princípios que constituem este campo, como: radiação alfa, beta e gama, instabilidade nuclear, meia-vida, segurança, efeitos biológicos, detectores, reações nucleares, conservação de massa e energia, fusão e fissão nuclear, radioisótopos, aplicações medicinais e irradiação em alimentos. Além da radioatividade, na química temos outros exemplos, como o campo conceitual da estereoquímica que engloba os conceitos de quiralidade, centro estereogênico, ligação química, enantiômeros, diastereômeros, identidade, equivalência estrutural e rotação/translação molecular, apresentados por Bueno Filho e Nascimento (2014).

No que diz respeito à biologia, alguns pesquisadores também preocuparam-se em mencionar os fundamentos que constituem campos de conceitos, neste caso, para a genética: biologia molecular, cálculos elementares de probabilidade, dominância, recessividade,

⁵Citação original: the concepts of measure, transformation, comparison, difference and inversion, the concepts of unary and binary operations, the concepts of natural and directed number, the concepts of function, of abscissa.

frequência, alelo, fração, hibridismo, cálculos de percentuais simples, meiose, haploidia, diploidia, meiose, fenótipo, genótipo, entre outros (SILVEIRA, 2008).

Considerando os exemplos apresentados, faz-se presente tanto a questão dos conceitos, como também de algumas situações das quais o campo conceitual foi estabelecido, isso devido ao fato de que um campo conceitual não é somente formado por seus conceitos estruturantes, mas pelo diálogo entre estes princípios e as situações das quais são necessárias o emprego de tais conceitos. Nesse sentido, a inclusão das situações é feita por alguns autores, quando se referem aos campos conceituais, como no caso de Mota e Rezende Júnior (2012), que inserem as pesquisas espaciais, no campo conceitual da astronomia e Scheffler e Del Pino (2013) que se remetem às situações, apresentando exemplos como: efeitos biológicos, aplicações medicinais e irradiação em alimentos no campo conceitual da radioatividade.

Dessa forma, para cada campo conceitual deve ser atribuída uma classe de situações, pois somente uma não seria suficiente para conferir significados ao campo conceitual (VERGNAUD, 1982). Igualmente, uma situação não envolve todos os conceitos pertinentes a um campo conceitual (VERGNAUD, 2009), assim, não podemos considerar que dos exemplos citados para os campos conceituais da radioatividade, genética, estereoquímica, entre outros, estão restritos somente a estes conceitos ou a estas situações. Analogamente, Vergnaud (1988) assume que para formulação de um campo conceitual é necessário considerar um amplo conjunto de eventos e conceitos, que subsidiam o entendimento das filiações e rupturas provenientes do campo em análise.

Embora um campo conceitual deva ser pensado como um conjunto extenso de situações e conceitos, Vergnaud indica a importância da distinção entre os campos conceituais, pois, apesar de poderem ser dependentes, devem ser considerados distintos. Como exemplo, o campo densidade é vinculado a outros campos, como, massa, volume, proporcionalidade, entre outros, mas deve ser pensado unicamente. Esse entendimento permite, segundo Grenier (2007),

- substituir um conceito por um conjunto de conceitos próximos;
- especificar as classes de problemas onde esses conceitos são ferramentas de resolução (para especificar seus significados) (GRENIER, 2007, p. 3, tradução nossa)⁶.

⁶Citação original: - replacer un concept dans un ensemble de concepts qui lui sont voisins; - préciser les classes de problèmes où ces concepts sont outils de résolution (donc préciser leurs significations).

Ao passo que um campo conceitual possa ser substituído por conceitos próximos à análise das parcelas (que podem ser de fundamentos mais simples) pode facilitar a compreensão de campos mais complexos, além de tornar mais simples a promoção de situações que deem sentido aos problemas e campos em desenvolvimento (SANTANA, 2012).

Mesmo considerando os campos individuais, a ideia de campo conceitual torna-se mais significativa do que a avaliação de conceitos isolados, pois, fundamentos em si, geralmente, não são significados em um contexto (PLAISANCE; VERGNAUD, 2003). Não se avalia e nem se compreende uma situação com um único conceito, mas com um conjunto deles.

Por esse ângulo, Vergnaud (1990) refere-se a um conceito como um sistema complexo formado por tantos outros conceitos, produzindo, assim, uma teia de conhecimentos. Em relação à construção de conceitos por indivíduos, esses conceitos são formulados à medida que o sujeito os significa através de situações problemáticas, isso devido ao fato de que todo conceito deve ser operacional, pois, serve de sustentação para situações reais, ou seja, “deve ser pensado ou explicado em termos de propriedades e relacionamentos” (VERGNAUD, 1979, p. 264, tradução nossa)⁷.

Assim, um conceito não pode ser entendido como uma simples definição, mesmo que a definição seja relevante para constituição do pensamento, e sim, por conseguinte, como um tríptico conjunto distinto, mas dependente, S, I e L (VERGNAUD, 1982, p. 36; 1990, p. 7; 2013b, p. 142), em que,

- S: deve ser entendido como o conjunto de situações, que tornam o conceito significativo;
- I: deve ser compreendido como, o conjunto de invariantes operacionais, que instituem o conceito e estruturam as formas de organização do pensamento, e que serão evocados pelas situações;
- L: deve ser concebido como o conjunto de representações linguísticas e simbólicas que são usadas para retratar o conceito, suas propriedades e as situações ao qual estão relacionados.

Considerando a interpretação de Moreira (2002), no que diz respeito aos aspectos psicológicos ligados à ideia de conceito para Vergnaud, o conjunto S está relacionado à

⁷Citação original: must also be thought over, or explained, in terms of properties and relationships.

realidade, pois se remete aos fatos ocorridos, já I e L estão atrelados aos aspectos constituintes do pensamento.

Por outro lado, não é possível analisar um conceito sob uma ótica ou outra, ou seja, somente na perspectiva da representação, ou dos invariantes, pois, as conexões entre as situações (S) e as representações (L) só podem ser estabelecidas por meio dos invariantes (I).

De acordo com Vergnaud (1998, p. 177), a relação entre os invariantes (I) e as situações (S) é a primeira fonte da conceitualização, pois, a formação de conceitos implica na identificação de objetos (realidade) com suas propriedades, relacionamentos e transformações, que podem ser manifestados pelo conjunto das representações (L). Em outras palavras, a ideia de constituição de um conceito, pelos indivíduos, sempre se remeterá a associação destes conjuntos (S, I e L).

Como exemplo, podemos pensar no estabelecimento do conceito de conservação em um processo. Para isso, uma série de situações será vivenciada pelo sujeito, e estas situações evocarão invariantes, como as primeiras comparações de ordem global feitas pelas crianças, provocadas pela observação, pelo manuseio, pela contagem não associativa, entre outros. Assim, S e I estão em profunda relação, e as comparações globais podem ser ampliadas para paridades mais restritas ao conceito, com a percepção de outros aspectos e problemas, como, a manutenção ou não das quantidades, as variações decorrentes da mudança da conformação dos objetos, entre outros.

Em contrapartida, as comparações de ordem global são estabelecidas em conjunto com a linguagem natural dos indivíduos, por exemplo, a linguagem verbal e gestual, em que, não se tem referência de nenhuma representação simbólica mais específica, mas que marcam a inicialização do processo de representação. Por conseguinte, os processos de representação, inseridos no ato de pensar podem também ser classificados como formas iniciais de elucidação dos objetos e das situações.

Desse modo, para o conceito de conservação, o conjunto L é construído, mentalmente, por meio da constituição dos objetos e situações. Desta constituição, circunstâncias como o “desaparecimento” e a associação direta dos objetos a uma quantidade, ajudam a significar e retratar o conceito, bem como, sua representação por meio de desenhos e números, que exigem, então, uma linguagem mais específica diante do problema. Assim, indubitavelmente o conjunto das representações (L) está intimamente relacionado com o conjunto dos invariantes (I).

Logo, segundo Vergnaud (2007b), a ideia de conceito composto por meio do triplete S, I e L se remete a,

- não se pode estudar o desenvolvimento de um conceito isoladamente, porque é sempre visto por um conjunto, formando um sistema;
- a conceitualização é um processo que faz parte da atividade, e é necessário, portanto, capturar as conceitualizações que operam nos esquemas, sejam eles explícitos ou implícitos; Isto é o que me levou a dar tanta importância ao conceito de invariante operatório;
- numa perspectiva de desenvolvimento, um conceito é um triplete de conjuntos: um conjunto de situações, um conjunto de invariantes operacionais, um conjunto de formas linguísticas e simbólicas (VERGNAUD, 2007b, p, 288, tradução nossa)⁸.

Um conceito trata-se, portanto, do ato de enfrentar as situações, provocar os invariantes e representar as situações e conceitos nela envolvidos, configurando assim, a ideia de mobilidade para um fundamento.

1.3 OS ASPECTOS CONSTITUINTES DOS CONCEITOS NA TCC: AS SITUAÇÕES (S), OS INVARIANTES (I) E AS REPRESENTAÇÕES LINGUÍSTICAS (L)

1.3.1 O conjunto das SITUAÇÕES

Segundo sua definição clássica, a palavra “situação” pode se remeter a uma classe extensa de significados, como, as condições de estado, conjuntura, ocorrência. De maneira geral, pode ser resumida por: “conjunto de circunstâncias num determinado momento” (MICHAELIS, 2017). A ideia das situações coloca-se frente ao que acontece no real e, para a psicologia cognitiva, as situações têm papéis que vão além do campo do objeto e do palpável, envolvendo uma relação estreita entre o real e o sujeito.

⁸Citação original: - no se puede estudiar el desarrollo de un concepto de manera aislada, porque siempre está tomado de un conjunto, formando un sistema;

- la conceptualización es un proceso que forma parte de la actividad, y es necesario, pues, captar las conceptualizaciones que operan en los esquemas, tanto si son explícitas como implícitas; esto es lo que me ha conducido a dar tanta importancia al concepto de invariante operatorio;

- en una perspectiva de desenvolvimiento, un concepto es un triplete de conjuntos: un conjunto de situaciones, un conjunto de invariantes operatorios, un conjunto de formas lingüísticas y simbólicas.

Nesse sentido, as situações são mais amplas do que sua definição usual, já que o desenvolvimento intelectual se dá por meio das situações, isso segundo a perspectiva de Vergnaud, pois delas surgem novas ou mais complexas formas de estrutura para os conhecimentos. Então, a concepção adotada é a de que “os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com as quais eles se confrontam” (VERGNAUD, 1996a, p. 171), assim, certifica-se a ideia de que as situações são “a porta de entrada” para a formação de conceitos. Somado a isto, as situações, são construtivas, pois, auxiliam não somente na interpretação dos fatos, mas conduzem à transformação dos objetos em suas formas de representação - as situações são consideradas por Vergnaud, Pastré e Mayen (2006) o meio pelo qual os indivíduos podem questionar o real.

Em decorrência desta concepção, Vergnaud (1990; 2009) caracteriza as situações em dois tipos: de **variedade** e de **história**.

As **situações de variedade** contemplam as várias situações que fazem parte de um campo conceitual, vivenciados por um indivíduo durante sua vida, por exemplo, uma tarefa diária, atividades escolares, entre outros. As situações de variedade se enquadram, tanto em situações já experienciadas, como em novas, encontradas em novos problemas, dessa forma, somam-se e ajudam na construção sistemática das classes de conceitos que já se iniciaram. Assim, as situações de variedade contemplam os acontecimentos que vem do meio de forma aleatória e que constituem um conceito. Como exemplo disso, Vergnaud (1990) indica que o conceito de adição é formulado naturalmente pelas crianças ao vivenciar situações como, comprar doces, pôr a mesa, separar um time para um jogo, pois, é necessário que pensem em condições de comparação, número, transformação, entre outras, relações estas necessárias para formulação do conceito em questão.

Já as **situações de história** se remetem a acontecimentos já dominados pelos indivíduos, devido ao confronto das situações ao longo de sua vida. Nesse caso, essas situações foram progressivamente coordenadas e são mais responsáveis pela formulação concreta dos conceitos, isso devido ao fato de serem circunstâncias vivenciadas com mais frequência, e que, acima de tudo, foram funcionais e verdadeiramente significativas para a conceitualização.

As situações de história também são relevantes na formulação de conceitos, pois, auxiliam na ruptura com conhecimentos anteriores, ou na ampliação desses conhecimentos, dependendo de quão significativa e problemática for a ocorrência. Segundo Vergnaud (2013b,

p. 147, tradução nossa)⁹ “o desenvolvimento manifesta-se ao mesmo tempo através de continuidades e de rupturas: o novo conhecimento é construído e apoiado por conhecimentos prévios, e às vezes ao opor-se a eles”, o que pode ser favorecido por meio dessas situações.

Outra consideração importante é que as situações de história fazem parte do desenvolvimento pessoal, pois se remetem aos acontecimentos na individualidade. Por sua vez, mesmo que um sujeito vá ao mercado, e esta atividade seja desempenhada por muitas outras pessoas, as decorrências do evento não são transferíveis, pois as relações com os objetos, pessoas, entre outros, são pertinentes àquela situação e àquele indivíduo.

Apesar de serem acontecimentos individuais, Vergnaud (1990) afirma que, existem certas regularidades no tratamento de uma mesma situação pelas pessoas, seja, nas concepções primitivas de análise da situação, na construção de relações ou na observação de suas propriedades. Portanto, as situações vivenciadas são diferentes, mas formam um todo coerente para o desenvolvimento de um campo conceitual para o indivíduo. Afirma ainda que, o que pode ser comum às pessoas sejam os pontos de rupturas e continuidades para com os conhecimentos anteriores, mesmo em situações diferenciadas (VERGNAUD, 1990).

Dessa forma, para que um campo conceitual seja desenvolvido, é necessário o enfrentamento, de uma série de situações de variedade e de história, já que um campo conceitual é sempre formado por um amplo conjunto de situações. Toda situação conduz a conhecimentos de base ou a conhecimentos complexos.

Complementando a ideia de situação, os esquemas são fundamentais para a compreensão da relação entre situações e desenvolvimento intelectual. Segundo Vergnaud (1990; 1996a; 2007b; 2009; 2013b), um esquema é a organização invariante de uma conduta para uma classe de situações apresentada. Assim, designa as formas de organização das informações e ações, “e é estruturada por invariantes operatórios, isto é, conhecimentos adequados para selecionar a informação e processá-la” (PLAISANCE; VERGNAUD, 2003, p. 66). Nesse sentido, as informações são fornecidas pelas situações, no entanto, os esquemas são os responsáveis por seu processamento, o que acaba por tornar a relação esquema/situação indispensável para a aquisição de conhecimentos e desenvolvimento cognitivo.

Para Vergnaud (2013a), um esquema pode ter duas funções - organizar e gerenciar ações em situações já familiares, ou ainda, abordar e enfrentar situações desconhecidas,

⁹Citação original: Et le développement se manifeste à la fois par des continuités et des ruptures: les connaissances nouvelles se construisent à la fois en s'appuyant sur les connaissances antérieures, et en s'opposant parfois à elles.

ampliando as ramificações ao qual se aplica o esquema. Assim, os esquemas se adaptam às situações e, durante o desenvolvimento cognitivo, são ampliados a outras classes de situações.

Por consequência, novas situações, que possuem aspectos diferenciados, auxiliarão na construção de novos esquemas. Para isso, os relacionamentos já existentes, entre esquemas, são evocados, ajustados ou ainda desenvolvidos para a apropriação de novas situações (VERGNAUD, 2013a).

A exemplo disso, podemos pensar na cocção dos alimentos. Para se fazer um bolo de chocolate, por exemplo, tem-se uma receita, ao passo que, quando é necessário fazer um bolo de limão, o indivíduo pode recorrer aos ingredientes e processos do bolo de chocolate. Isso pode levá-lo ao êxito, pois, alguns processos são familiares em sua produção, no entanto, também o fará pensar em novos ingredientes e novos métodos necessários a produção desse novo alimento, ampliando sua concepção de cozedura para bolos. Dessa forma, as situações/esquemas, tanto antigos, como novos, beneficiarão, fornecendo ideias prévias que são comuns aos procedimentos dos dois, ou dificultarão o aprendizado, pois o indivíduo pode tentar enquadrar esquemas em situações incomensuráveis.

Logo, para que haja a formação/desenvolvimento de um esquema é necessária uma situação, no entanto, esta só pode ser compreendida se reportar-se às formas invariantes do pensamento. Assim, os esquemas são adaptáveis às situações e não existem sem elas. Esse entrelaçamento, entre o par situações/esquemas, é considerado por Vergnaud (2013b), mais interessante que o par estímulo/resposta, pois revela de forma mais concreta a dialética do desenvolvimento cognitivo, opondo-se ao papel submisso do sujeito frente a uma situação.

Outra consideração importante, sobre o conceito de situação, se refere a relatividade do problema. Isto posto, Vergnaud (1991) argumenta que uma situação que é problemática para uma criança, pode não ser mais um problema em anos posteriores o que também é evidenciado para o desenvolvimento cognitivo dos adultos. Os conhecimentos são modificados e desenvolvidos à medida que o sujeito se depara com situações mais problemáticas e complexas (PLAISANCE; VERGNAUD, 2003).

1.3.2 A noção de ESQUEMAS e o conjunto dos INVARIANTES OPERATÓRIOS

O fundamento de conceito para Vergnaud, como explorado, remete a ideia do conjunto triplo, situações (S), invariantes (I) e representações (L). Assim, para compreender a

TCC é necessário que se explore o conjunto invariante (I). Desta forma, um invariante operatório pode ser conceituado como “os conhecimentos contidos nos esquemas” (VERGNAUD, 1996a, p. 160).

Originalmente a ideia dos esquemas foi proposta como base filosófica por Kant (1724-1804) que os consideravam estruturas inatas para a organização de nossa impressão da realidade (EYSENCK; KEANE, 2000). Segundo Kant (2001, p. 209), um esquema pode ser definido como “condição formal e pura da sensibilidade a que o conceito do entendimento está restringido no seu uso e o de esquematismo do entendimento puro ao processo pelo qual o entendimento opera com esses esquemas”.

Um esquema seria um produto de nossa imaginação, considerando dialética a relação do sujeito em relação ao objeto. Com efeito, Kant (2001) considera que os conceitos não estão assentados sob forma de imagem em nossas estruturas de pensamento e sim sobre os esquemas. Um esquema se refere a uma aproximação do que de fato a realidade exprime.

Certamente, a forma considerada por Kant sobre o entendimento, organizado por esquemas, engendrou caminhos para que outros estudiosos considerassem esta forma de organização dos conhecimentos adquiridos por meio de reflexões sobre a experiência. Assim, por volta de 1930, Bartlett (EYSENCK; KEANE, 2000) no campo da neuropsicologia considerou, por meio de experimentos sobre uma lenda, entre outros, que as pessoas reconstruíam e moldavam a história considerando suas expectativas e suposições. Sugeriu que as expectativas assumiam alguma forma esquemática de exposição mental (EYSENCK; KEANE, 2000).

Já no campo do desenvolvimento, Piaget (1896-1980) foi influenciado pelas obras de Kant empregando, dentre outros aspectos, o uso do conceito de esquema para explicar o desenvolvimento cognitivo, em especial das crianças. A noção de esquema, para Piaget, remete-se a uma associação de conteúdos, que advém da relação entre a experiência (objeto) e o sujeito (PIAGET, 1973).

Nesse sentido, os esquemas são uma forma de organização do pensamento, e são utilizados de modo a compreender o real, bem como, agir sobre ele. Dessa forma, tem como principal atribuição, assegurar a incorporação de novas informações, de maneira entrelaçada (entre esquemas) sobre novos objetos. Ademais, o “conteúdo de cada esquema de ação depende em parte do meio e dos objetos ou acontecimentos aos quais se aplica” (PIAGET, 1973, p. 18) e também das questões internas do funcionamento biológico humano. Por

consequência, Piaget (1973) considera que os esquemas assumem posições hierárquicas e que são construídos sucessivamente apoiados em diferenciações anteriores:

[...] mantendo-nos no plano do comportamento, um esquema nunca tem começo absoluto, mas deriva sempre, por diferenciações sucessivas, de esquemas anteriores que remontam progressivamente até os reflexos ou movimentos espontâneos iniciais (PIAGET, 1973, p. 18).

Apoiado nestas concepções, Vergnaud (1996b) considera como principal contribuição de Piaget a ideia de esquema, proposto como fundamento para os desdobramentos do conhecimento. Apesar disso, Vergnaud estende a compreensão do conceito de esquema, propondo algumas reflexões acerca das proposituras de Piaget.

Assim Vergnaud (2007a; 2007b; 2012; 2013a; 2013b) assume quatro definições para a noção de esquema:

1. É um todo funcional dinâmico.
2. É uma organização invariante da conduta para um determinado tipo de situação.
3. É composto necessariamente por quatro ingredientes - objetivos, submetas e expectativas; regras para gerar ação, busca de informação e controle de decisões; invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação); possibilidades de inferência.
4. É uma função que recebe os seus valores de entrada de um espaço n dimensional temporalizada e produz os seus valores de saída em um espaço temporalizada também n dimensional (n e n' são grandes).

Com objetivo de compreender, mais amplamente, a noção de esquema, cada uma de suas definições foi explorada na sequência.

1.3.2.1 A noção de esquema como um todo funcional dinâmico

No tocante à primeira definição, Vergnaud assinala a relação de sua definição com a de Piaget. Indica assim, que os esquemas assumem a dinamicidade da reflexão na construção dos conhecimentos. Preliminarmente, um esquema é dito dinâmico, pois é dependente das situações com as quais o sujeito se depara. Dessa forma, os esquemas são responsáveis por acomodar e generalizar novas informações, que pertencem à realidade (VERGNAUD, 1991). Por conseguinte, nosso relacionamento com a realidade, mais exatamente com as situações,

nos obriga a evoluir e constituir novos esquemas, portanto, os esquemas são considerados por Vergnaud (1990; 1991; 2013a) flexíveis, o que permite adotá-los em circunstâncias variadas em uma mesma classe de situações.

Um esquema também é dito ativo, pois a aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo promovem a ampliação de um esquema. Isso porque, os esquemas são combinados, descombinados e recombinados para formar novos esquemas, são ainda simplificados, reduzidos ou automatizados quando certas partes dos esquemas já se tornaram familiares e são controladas apenas outras variáveis das situações (VERGNAUD, 1991).

Nesse caso, as condições indicadas são provindas de dois tipos de situações: as já dominadas e as novas situações (VERGNAUD, 1990). No primeiro caso, o sujeito já dispõe, em seu repertório, de esquemas para o tratamento imediato da situação, assim, eles podem ser simplificados, reduzidos ou automatizados. Já em situações novas, são utilizados muitos esquemas, que são estendidos a esta nova classe de situações, ou ainda, que são renegados, antes mesmo da constituição de uma ideia. No fundo, sempre são os esquemas os evocados para resolução de uma situação. Mesmo os fracassos mostram alguns esquemas que supostamente foram, de maneira frustrada, usados pelo indivíduo (VERGNAUD, 1990).

Ainda com relação ao caráter dinâmico de um esquema, seu aperfeiçoamento advém de situações que podem acarretar filiações e rupturas, com relação a conhecimentos anteriores. Nesse sentido, Vergnaud justifica sua proposta para a utilização desses dois conceitos:

- filiações porque as competências novas apóiam-se, em parte, nas competências adquiridas antes;
- rupturas porque, às vezes, a tomada de consciência necessária à formação de uma nova competência exige que a criança deixe de lado ideias e formas de agir anteriores. Por vezes, mesmo, é preciso que ela as rejeite (VERGNAUD, 2011, p. 16).

O autor indica que ambos os casos são relevantes para o desenvolvimento de um esquema, já que conceitos prévios auxiliam na compreensão de novos conceitos, quando estes são compatíveis e complementares, daí a ideia de filiação ou continuidade. Estes conceitos são construídos de forma a aumentar as ramificações, assim, sua amplitude. Por outro lado, em outros momentos as rupturas se fazem necessárias, já que ao interpretar novas situações o sujeito pode se deparar com fatos que contraponham suas ideias atuais. Nesse caso, é por meio de uma ruptura que o desenvolvimento ocorre.

Vergnaud (1991) apresenta alguns exemplos que consolidam esta perspectiva, entre eles, o caso da subtração. Para esse conceito, uma série de situações é colocada e podem ser equacionadas de diferentes formas, por exemplo: considerando um estado inicial em que, dele se subtrai certa quantidade obtendo no estado final um número menor (como exemplo, $12 - 5 = x$); conhecendo o estado final e uma parte do todo, calcula-se a outra parte (como exemplo, $x - 5 = 7$); conhecendo o estado final e a parte do todo que foi subtraída, calcula-se o estado inicial (como exemplo, $x - 7 = 5$).

Apesar de a subtração ser o conceito central nos três exemplos, nos dois primeiros casos a ideia geral implica em uma diminuição, enquanto que, no último exemplo, a sua elucidação necessita de uma adição. Como as primeiras percepções do conceito de subtração perpassam pela ideia de diminuição, é possível que existam maiores dificuldades na resolução de situações como a última apresentada. “Para a maioria dos alunos, essas dificuldades se estendem, durante o aprendizado da álgebra, até o final da faculdade pelo menos” (VERGNAUD, 1991, p.82, tradução nossa)¹⁰.

Estas dificuldades podem constituir, segundo Vergnaud, um obstáculo epistemológico, no sentido proposto por Bachelard (1996), à medida que os indivíduos permanecem usando modelos explicativos que não são capazes de explicar uma situação (VERGNAUD; PASTRÉ; MAYEN, 2006), ou seja, o conceito formulado não se enquadra à classe de conceitos pertinentes aquele campo conceitual. No caso da subtração, para que o conceito seja desenvolvido, é necessário que o indivíduo supere o obstáculo em que a subtração se remete apenas a processos de diminuição. Assim o desenvolvimento de um esquema se dá por meio de filiações e rupturas, entre a dialética do antigo e do novo (VERGNAUD, 2013b).

1.3.2.2 A noção de esquema como uma organização invariante da conduta para um determinado tipo de situação

Com relação à segunda definição, Vergnaud (1990; 1991; 1998; 2007a; 2007b; 2009; 2013a; 2013b) considera um esquema como uma organização invariante da conduta para um determinado tipo de situação. Os esquemas são necessários em todas as ações, sejam elas automatizadas ou refletidas. Enquadra-se em um amplo escopo como andar, falar, escrever um discurso, planejar uma atividade, resolver problemas escolares (VERGNAUD, 1991).

¹⁰Citação original: Pour une majorité d'élèves, ces difficultés se prolongent, au cours de l'apprentissage de l'algèbre, jusqu'à la fin du collège au moins.

Sendo assim, os esquemas são modificados à medida que nos deparamos com determinadas situações, no entanto, são invariantes frente às organizações das condutas. Quando uma situação se encontra dominada, é nesse ponto em que os esquemas são efetivamente evocados, ou seja, os esquemas necessários a resolver aquela classe de situações (VERGNAUD, 1990). Plaisance e Vergnaud (2003, p. 66) sinalizam que os primeiros esquemas de um indivíduo são “perceptivo-gestuais, isto é, maneiras de organizar a tomada de informação e ação para agir sobre os objetos, em função de certa intenção ou de um objetivo a atingir”. Neste caso, a necessidade em andar, por exemplo, fará com que o sujeito organize informações e maneiras de agir, para realizar a tarefa.

Analogamente, o que se torna invariável não são as condutas observáveis, pois elas resultam das situações, mas sim, a sua organização (VERGNAUD, 2007a; 2007b; 2012; 2013a; 2013b). À vista disso, um sujeito não necessariamente terá as mesmas ações ao andar, pois dependerá da intenção, local, para onde desejará ir, mas a sua forma de organização interna, quanto a levantar as pernas, mover-se, entre outros, será invariável, caso contrário, necessitaria construir todos os dias as mesmas operações.

A princípio esses esquemas vão se constituindo em decorrência da necessidade (daí o caráter funcional e dinâmico), no entanto, na medida em que determinada situação torna-se dominada, pode-se dizer que o esquema referente àquela situação está constituído, ou seja, torna-se invariante frente à organização da conduta (VERGNAUD, 2009). Isso não implica dizer que um esquema nunca será modificado, mas será dependente da ocorrência de uma nova situação. Assim Vergnaud afirma:

[...] um esquema não é um estereótipo, mas uma função temporizada com argumentos, que permite gerar sequências diversas de ações e de tomada de informação, em função dos valores das variáveis da situação. Um esquema é sempre um universal, porque se encontra associado a uma classe e, por outro lado, porque esta classe não está, em geral, acabada (VERGNAUD, 1996a, p. 163).

Para além da ideia de invariação da organização da conduta, mas ainda considerando a segunda definição de esquema, este pode ser utilizado para um determinado tipo de situação, ou melhor, para uma classe de situações (VERGNAUD, 2013a). Esta classe pode ser grande ou pequena, ou ainda, pode ser inicialmente pequena e depois expandida (VERGNAUD, 2007a). Isso não deve denotar a ideia de que há um único esquema para uma classe de situações, pois, muitas vezes, a situação requer um montante de esquemas (VERGNAUD, 1990; 2013b). Assim, quando um sujeito se depara com situações as quais necessite agir

sobre, por exemplo, uma quantificação (classe de situações), sempre requererá determinados esquemas, considerando aqui, uma variedade deles.

1.3.2.3 Os ingredientes dos esquemas

Ponderadas as ideias de invariação da organização da conduta para uma classe de situações, a terceira definição configura os ingredientes dos esquemas e permite, conseqüentemente, compreendê-los analiticamente. Assim, os esquemas são constituídos de quatro elementos:

- Objetivos, submetas e expectativas.
- Regras para gerar ação, busca de informação e controle de decisões.
- Invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação).
- Possibilidade de inferência.

Os **objetivos** indicam os primeiros intuitos do sujeito, isso implica considerar que um esquema não pode ser definido somente pela ação, mas também, como reflexão frente às necessidades. São promovidos, também, pelas situações e podem ser negociados com outras pessoas. Os objetivos são, portanto, a parte intencional dos esquemas, e são indispensáveis para a organização da ação. Para fomentá-las (ação), os propósitos podem ser decompostos em submetas que são geridas, antes ou durante o processo, o que constitui possíveis expectativas (VERGNAUD, 2013b).

Já as **regras para gerar ação** são os componentes geradores dos esquemas (VERGNAUD, 1996b; 2007a; 2013b) e são condicionadas pelos objetivos. Porém, não criam a ação, mas toda a atividade do sujeito, o que inclui gerenciar, coordenar, buscar e controlar as informações. Também permitem o controle da ação, de modo a possibilitar o alcance do objetivo. São responsáveis em assegurar o processo regulatório dos esquemas (VERGNAUD, 1996b; 2007a).

Também por consequência da regulação destas regras, Vergnaud (2012), assinala que os esquemas são formados progressivamente, considerando a ideia das filiações, e que não somente as ações observáveis, mas também, a busca por informações e controle das decisões, é organizada por este ingrediente. Ademais, esta regulação permite, inclusive, mudanças na condução da ação, envolvendo a concepção das rupturas.

Assim, as regras para gerar ação, são responsáveis por tornar os esquemas coerentes em suas conexões, de modo a garantir seu funcionamento. Todavia, como as situações são a “porta de entrada” para a conceitualização, as regras são condicionadas, como dito, pelas metas, expectativas e objetivos lançados pelas situações e necessidades do sujeito (VERGNAUD, 2013b), para tanto, é necessário identificar objetos, seus atributos e correlações, o que se torna possível por meio da conceitualização. Assim, a ideia do conhecimento processual pode ser estendida, pois, para Vergnaud (2012, p. 291, tradução nossa)¹¹,

(...) não é o conceito de sucessão regular o único que pode ajudar compreender as razões que vinculam as diferentes condições possíveis e as diferentes atividades associadas a elas. Existem relações conceituais entre condições e atividades.

Dessa forma, tanto metas e objetivos, quanto as regras para gerar ação, são possíveis devido às conceitualizações feitas sobre objetos e situações. É este argumento, utilizado por Vergnaud, que introduz aos esquemas os “componentes epistêmicos” (VERGNAUD, 2012, p. 291), conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, ou **invariantes operatórios**.

Os invariantes operatórios são ditos componentes constantes dos esquemas e são construídos no decorrer do tempo. Assim, para os indivíduos, uma noção pode ser variável, mas à medida que ele consegue desenvolver os esquemas referentes àquele conceito a concepção se torna invariável (VERGNAUD, 1982). Por exemplo, para uma criança parece ser condizente que se tenha diferentes volumes de um líquido quando ele é transportado de um copo para outro, com diferentes diâmetros, já para o adulto essa percepção se mostra irrelevante, pois é permanente. Isso posto, os invariantes operatórios são encarados, pelos sujeitos, como propriedades óbvias das situações (VERGNAUD, 1982), devido ao processo de conceitualização, assim, dificilmente são modificados.

Considerando essa perspectiva, os significados repousam sobre os invariantes operatórios (VERGNAUD, 1991), o que implica dizer que as conceitualizações podem estar implícitas nos esquemas e que, nos esquemas, é possível encontrar os conhecimentos-em-ação (VERGNAUD, 1990). Assim, Vergnaud (1996b) infere que nos invariantes é possível encontrar a base conceitual implícita ou explícita. Esta base conceitual é o que permite o processamento das informações que são, de fato, pertinentes, possibilitando as inferências e

¹¹Citação original: ce n'est pas le concept de succession régulière qui peut à lui seul permettre de saisir les raisons qui relient les différentes conditions possibles et les différentes activités qui leur sont associées. Il existe des relations conceptuelles entre conditions et activités.

interpretações. Dessa forma, somente com a integração dos invariantes, é que os objetivos, expectativas e regras para gerar ação passam a ser válidos. Assim, assinala Vergnaud (2007a, p. 7, tradução nossa)¹²,

A principal função dos invariantes operacionais é coletar e selecionar informações relevantes e inferir consequências úteis para ação, controle e posterior captura de informações. É então uma função de conceitualização e inferência.

Para cada situação, um sujeito tem vários conhecimentos possíveis e, para identificar os objetos e possibilitar relações, são necessários os invariantes, em que repousam as bases conceituais da cognição. Estes conhecimentos podem ser divididos em duas classes: conceitos-em-ação e teoremas-em-ação.

Os conceitos-em-ação são ditos categorias de pensamento consideradas pertinentes ou não (VERGNAUD, 1996a; 1998; 2013a; 2013b), assim alguns possuem *status* de objeto, outros de predicados (VERGNAUD, 2013b). Entende-se por objeto tanto as coisas “materiais perceptíveis, como os “objetos construídos” pela cultura, ciência, tecnologia ou pelo mesmo sujeito individual” (VERGNAUD, 2013b, p. 153, tradução nossa)¹³, enquanto que os predicados podem ser compreendidos como propriedades dos objetos, observáveis ou inferidas por meio das elaborações culturais.

Como exemplo, pode-se pensar nos conceitos de velocidade, temperatura, deslocamento, tempo, carro, termômetro, medição, transformação, mol, pressão, massa, que serão considerados tocantes ou não a situação. No entanto, um conceito-em-ação, se objeto ou predicado, quase não dá possibilidades de inferência, como aponta Vergnaud (2007b), pois não são passíveis de questionamento. Nesse sentido, as relações são possíveis por meio dos teoremas-em-ação.

Os teoremas-em-ação são tomados, dessa forma, como proposições sobre o real, que são defendidas como verdadeiras pelos indivíduos (VERGNAUD, 1996b; 2009; 2012; 2013a; 2013b), dessa forma, são espontaneamente usados e podem estar certos ou equivocados do ponto de vista dos conhecimentos aceitos culturalmente (VERGNAUD, 2012). Nesse caso, podem-se ter os conceitos-em-ação, como exemplo, pressão, volume e temperatura, que são julgados pertinentes ou não, no entanto, ponderar sobre o aumento da pressão, quando se

¹²Citação original: La fonction principale des invariants opératoires est de prélever et de sélectionner l'information pertinente et d'en inférer des conséquences utiles pour l'action, le contrôle et la prise d'information subséquente. C'est alors une fonction de conceptualisation et d'inférence.

¹³Citação original: materialmente perceptibles y “objetos construidos” por la cultura, la ciencia, la técnica, o por el mismo sujeto individual.

diminui o volume de um recipiente, com temperatura constante, depende de um teorema, ou ainda, considerando uma situação, um teorema-em-ação.

Por outro lado, os teoremas-em-ação são desenvolvidos durante um longo período de tempo, requerendo teoremas de níveis diferentes (VERGNAUD, 2009), assim, relacionamentos, como a pressão, depende da temperatura, podem ser considerados de complexidade menor, no sentido de envolver dois conceitos, quando comparados ao caso anterior (pressão, volume e temperatura). Também alguns teoremas-em-ação podem ser específicos, enquanto que outros podem ter características mais universais e serem usados em várias situações pelos sujeitos (VERGNAUD, 2007; 2013b).

Por certo, Vergnaud (1982; 1991; 2012) concebe que os teoremas-em-ação são a forma pela qual se possa fazer inferências sobre a realidade. Para o autor (2012), não há ação sem teoremas-em-ação, ou seja, sem assegurar problemas reais com a realidade, o que possibilita o caráter adaptativo e operacional nos esquemas (VERGNAUD, 1991).

Em decorrência da proposta de que não há ação sem teoremas-em-ação, Vergnaud (1982; 1998; 1991; 2007b) considera que os teoremas-em-ação são, na maioria das vezes, implícitos, ou seja, nem sempre são conscientes. Pondera, por consequência que, em cada ação, selecionamos uma parte muito pequena das informações disponíveis (VERGNAUD, 1998). Com isso, a título de exemplo, sabemos, naturalmente, que um recipiente fechado pode estourar com o aumento da temperatura, no entanto, este teorema-em-ação pode manter-se sem a necessidade de maiores explicações, mas, caso o sujeito procure justificativas da ocorrência, pode então fazer-se explícito o teorema-em-ação. Quando se tornam conscientes ou explícitos, os teoremas-em-ação podem tornar-se verdadeiros teoremas científicos (VERGNAUD, 1979; 1991), pois são apresentados e dialogados com outros indivíduos.

Ainda o autor pondera que, o que de fato é conceitualizado se torna explícito (VERGNAUD, 1991), logo, os teoremas-em-ação podem se converter em teoremas científicos se forem conceitualizados, isto é, necessitam inicialmente serem percebidos, e por consequência, refletidos, expressados, ponderados e significados, em diversas circunstâncias. Também em virtude da característica tácita dos teoremas-em-ação, muitos dos erros e dificuldades apresentados pelos sujeitos são demarcados pelos processos de conceitualizações internas, que, por hora, são insuficientes do ponto de vista científico (VERGNAUD, 1991).

Considerando que não existe ação sem teoremas-em-ação, e que não há ação sem objetos e predicados, Vergnaud (1990; 2007a; 2007b; 2009) reitera que a relação entre teoremas-em-ação e conceitos-em-ação é dialética e indissociada. Para ele,

A relação entre teoremas e conceitos é obviamente dialética, na medida em que não há teoremas sem conceitos e nem conceito sem teoremas. Metaforicamente, podemos dizer que os conceitos-em-ação são os tijolos com os quais os teoremas-em-ação são feitos e que o único motivo para a existência dos conceitos-em-ação é precisamente permitir a formação de teoremas-em-ação (proposições verdadeiras), das quais são possíveis a organização da atividade e as inferências. Reciprocamente, os teoremas são constitutivos de conceitos, pois, sem proposições verdadeiras, os conceitos ficariam vazios de conteúdo (VERGNAUD, 2007a, p. 8, tradução nossa)¹⁴.

Isso posto, citando nosso exemplo, a relação entre o recipiente que estoura e a dependência da pressão em função da temperatura, que são possíveis teoremas-em-ação, depende da construção dos conceitos-em-ação, como recipiente, temperatura, “estouro”, pressão, termômetro etc. Sem a significação desses conceitos-em-ação não seria possível conceber as relações e inferências, ao passo que, sem os teoremas-em-ação, não seria possível ao menos compreendê-los em uma ação.

Salienta-se que os invariantes operatórios estão ligados aos objetivos, regras para gerar ação, pois são responsáveis por agregar os conteúdos pertinentes das situações. Todavia, o que propicia compreender que um esquema não é um estereótipo, é seu último ingrediente: **possibilidades de inferências.**

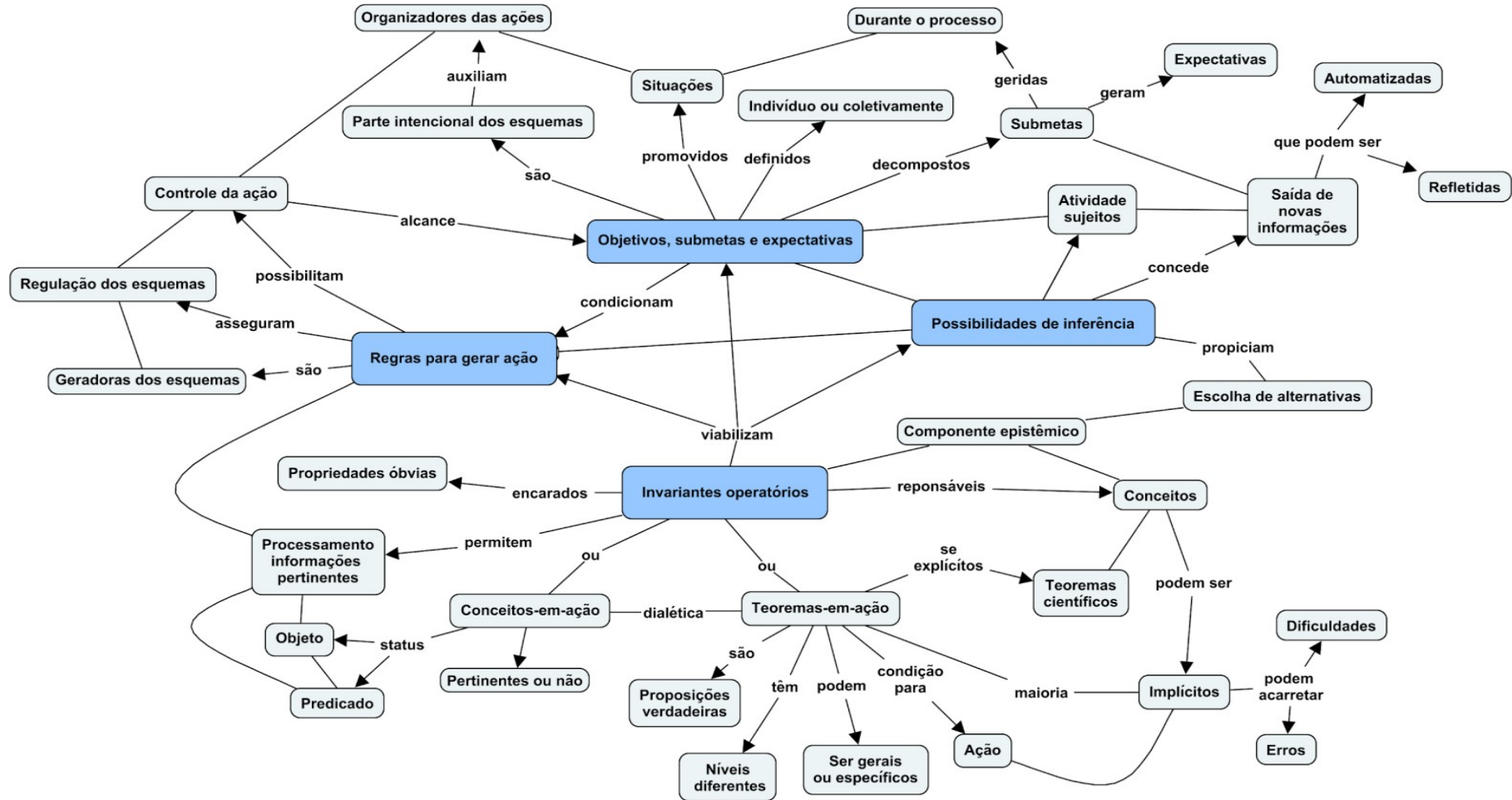
A possibilidade de inferência oportuniza entender que um esquema é fruto da intensa atividade dos sujeitos (VERGNAUD, 1991; 2007b; 2009; 2013b) e que são regulados por adaptações, controles e ajustes graduais (VERGNAUD, 2007a). Permitem, dessa forma, a criação de inferências do tipo “então... se...”, antes, durante e depois dos acontecimentos.

Como consequência, Vergnaud (2007a) certifica que dificilmente uma ação é realizada sem a saída de novas informações, mesmo que sejam automatizadas, por conseguinte, as inferências propiciam a escolha de uma alternativa entre várias, dependendo das vantagens e desvantagens encontradas (VERGNAUD, 2013b).

¹⁴Citação original: La relation entre théorèmes et concepts est évidemment dialectique, en ce sens qu'il n'y a pas de théorème sans concepts et pas de concept sans théorèmes. Métaphoriquement on peut dire que les concepts-en-acte sont les briques avec lesquelles les théorèmes-en-acte sont fabriqués, et que la seule raison d'existence des concepts-en-acte est justement de permettre la formation de théorèmes-en-acte (propositions tenues pour vraies), à partir desquels sont rendus possibles l'organisation de l'activité et les inférences. Réciproquement, les théorèmes sont constitutifs des concepts puisque, sans propositions tenues pour vraies, les concepts seraient vides de contenu.

Os ingredientes de um esquema constituem deste modo, uma forma integrativa de pensar a sua construção. Não é possível conceber os invariantes operatórios, que, segundo Vergnaud, é um dos componentes de maior representatividade nos esquemas, caso, os meios de regulação, entrada e controle das informações não se mostrarem funcionais. Assim, por meio destas associações, a seguinte representação para os ingredientes dos esquemas (Figura 3) pode ser elaborada:

Figura 3: Integração dos ingredientes dos esquemas



Fonte: Autoria Própria.

1.3.2.4 Os esquemas como funções

Acerca da quarta definição de esquema, ou seja, “um esquema é uma função que recebe os seus valores de entrada de um espaço n dimensional temporalizada e produz os seus valores de saída em um espaço temporalizada também n dimensional (n e n' são grandes)” (VERGNAUD, 2013a, p. 47, tradução nossa)¹⁵, Vergnaud (2007b; 2012; 2013a; 2013b) assume a possibilidade de formalizar um esquema, considerando-o uma função matemática. No que diz respeito às questões qualitativas, o autor ainda pondera que a expressão indica a compreensão da complexidade de um esquema.

Relativo à quarta definição, Vergnaud atribui papel secundário frente à importância e considerações sobre os esquemas. Assim, pondera que são as três primeiras designações, especialmente a terceira (componentes de um esquema) que o caracterizam, de fato, pois denota a sua natureza funcional, adaptativa e cognitiva (VERGNAUD, 2012; 2013a).

Os esquemas, segundo Vergnaud, de fato se diferenciam e se estendem em relação ao conceito de esquema para Piaget. Nesse sentido, além da relação entre os objetos e o sujeito na constituição dos esquemas, é necessário considerar que conceitos e teoremas também estão contidos nos esquemas, ou seja, esquemas matemáticos (considerando a perspectiva de Vergnaud), ou ainda, esquemas explicativos da ciência. Também há que se considerar que existem esquemas que para Vergnaud (1998), são tão importantes quanto os perceptivos-gestuais e matemáticos - os esquemas verbais e sociais.

De fato, estes esquemas se combinam para resolver uma classe de situações. A resolução de um problema coletivo, como em um exercício de química, exige que vários esquemas se façam, necessários como negociações, esclarecimentos, sistematizações, redações, cooperações, entre outros, o que torna imprescindível a discussão sobre o conjunto L , das representações linguísticas e simbólicas.

¹⁵Citação original: a scheme is a mapping from a multidimensional space of information variables (n dimensions) onto a multidimensional space of action variables (n' dimensions). Both n and n' are usually very large.

1.3.3 O conjunto das REPRESENTAÇÕES

Vergnaud (2007a; 2009; 2012; 2013a) apresenta quatro significados distintos para o conceito de representação, mas que, segundo sua ótica, são interdependentes:

Significado 1 - A representação é **fluxo da consciência**, pois é manifestada por meio da percepção e da imaginação. A percepção consiste na identificação de objetos e relacionamentos que dependem das experiências e interesses de cada um, como, a vivência da escola. Mesmo com espaços comuns, o entendimento dos alunos será diferente da dos professores, que por sua vez, será diferente da dos pais dos alunos.

Mas além da percepção, Vergnaud (2013a) considera que a imaginação também é derivada do fluxo da consciência, já que nem todos os objetos são inteiramente materializados, ou seja, perceptíveis, como no caso dos frutos derivados dos objetos construídos pela ciência, como o conceito de átomo, gene, força, e muitos outros. Ainda, segundo o autor (2007a), a consideração de que a representação é fluxo da consciência é a sua evidência mais direta como um fenômeno psicológico.

Significado 2 - A representação é um **sistema de conceitos**. Vergnaud (2007a) considera que, a representação é estruturada por conceitos. Não é possível imaginar, falar sobre um objeto ou representá-lo por meio de figuras, sem conceitos, mesmo que prévios, sobre ele. A formalização deste sistema de conceitos é de responsabilidade dos invariantes operatórios, já que são os componentes epistêmicos dos esquemas. Nesse sentido, a representação pode ser explícita ou implícita e está, novamente, vinculada às ações dos indivíduos, pois não existe ação e percepção sem os invariantes. Isso posto, o autor fundamenta este segundo significado por meio do entendimento que se faz de um símbolo, ou qualquer tipo de linguagem.

Assim, as representações “funcionam em qualquer caso como substitutos computáveis para a realidade e, portanto, são constituídos por teoremas-em-ação: proposições que são consideradas verdade” (VERGNAUD, 1998, p.174, tradução nossa)¹⁶. A forma como um aluno interpreta o sinal de igualdade, por exemplo, pode ser diferente do que é pensado pelos matemáticos (VERGNAUD, 1982), o que está relacionado diretamente com os invariantes operatórios, ou seja, os conceitos e teoremas desenvolvidos na ação pelo sujeito.

¹⁶Citação original: they work in any case as computable substitutes for reality, and therefore are made up of theorems-in-actions: propositions which are held to be true.

em automatização da linguagem e das representações simbólicas, quando a conceitualização não foi iniciada, pois não existe enunciado ou representação do que não foi previamente pensado.

Logo, a representação é um processo dinâmico (VERGNAUD, 1998), e, em vista disso, não pode ser ponderada como fotocópias da realidade, tanto do que pensa um indivíduo, como em relação aos objetos. Dessa forma, cada pessoa pode apresentar ou compreender um sistema de significantes de forma diferenciada das de outros sujeitos, o que justifica o fato de um mesmo problema/situação ter múltiplas interpretações e variadas formas de ilustração.

Com o objetivo de auxiliar na compreensão de que as representações são um sistema de significantes e significados e que este processo é dinâmico e pessoal, Vergnaud (2013a) recorre a variados exemplos, considerando a problemática das fórmulas que são usadas em química, física, matemática, entre outros. Para ele, as fórmulas possuem dupla relevância. Primeiro porque carregam intrinsecamente suas variáveis ou constantes e suas devidas operações e, também, porque possibilitam diferentes usos e leituras.

Assim, para o volume de um prisma, $V = A \cdot h$, “podemos ter várias leituras desta fórmula, bem como, usos distintos que podem ser conceitualmente diferentes” (VERGNAUD, 2013a, p. 54, tradução nossa)²⁰. Por meio dela, somos capazes de calcular o volume, a altura ou a área de superfície da base, considerando todas as operações matemáticas envolvidas. Também podemos pensar nas relações proporcionais como “o volume é proporcional à altura quando a área de superfície da base é considerada constante, e para a superfície da base quando a altura é constante” (VERGNAUD, 2013a, p. 54, tradução nossa)²¹.

Em vista disso, são possíveis diferentes interpretações e aplicações, para uma única fórmula, e cada uma delas dependerá da configuração ou complexidade da conceitualização por parte do sujeito, ou seja, da relação entre o indivíduo (invariantes), os sistemas de significados e as situações. Normalmente, considera-se que a forma direta para o cálculo do volume do prisma, em que, se necessita multiplicar a medida da altura pela a área de superfície da base, pode despende de menos teoremas-em-ação e conceitos-em-ação que as considerações sobre a proporcionalidade (VERGNAUD, 2013a).

²⁰Citação original: We can have various readings of this formula as well as distinct uses that can be conceptually diferente.

²¹Citação original: Volume is proportional to the height when the surface area of the base is considered constant, and to the surface of the base when the height is constant.

Significado 4 - A representação é um **sistema de esquemas**. As representações podem ser compreendidas como produtos da ação e percepção (VERGNAUD, 2009) e também auxiliam na regulação e organização desse movimento. Nesse sentido, devem ser abrangidas em todos os aspectos referentes aos esquemas, ou seja, não somente aos invariantes operatórios, pois não esgotam todo o seu conteúdo (VERGNAUD, 2012).

Por estas considerações, os esquemas são, segundo Vergnaud (2012), os responsáveis pela percepção, ação e imaginação e esses processos envolvem, necessariamente, o uso das representações linguísticas e simbólicas. É por meio das expressões do pensamento, que se torna possível traçar objetivos, formalizar regras para gerar ação e propor inferências, pois permitem a simulação da realidade, portanto, ajudam a conceituá-la (VERGNAUD, 2007a).

1.4 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS: ALGUMAS PERSPECTIVAS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS²²

Em virtude do processo de conceitualização, que se dá pela relação entre os invariantes (I) e as situações (S), e que podem ser manifestados pelo conjunto das representações (L), Vergnaud (2007b) indica a importância de outros sujeitos nos processos de mediação, por meio de proposições de novas condições de aprendizagem. Nessa perspectiva, Plaisance e Vergnaud (2003) afirmam que tanto os pais quanto os professores têm papel formador das situações que podem despertar interesse, pois podem intervir na escolha das situações e problemas que devem ser solucionados. De fato, situações enriquecedoras podem facilitar o desenvolvimento de esquemas, ou ainda, promover conflitos de forma que esquemas existentes se adaptem a novas situações.

[...] um suporte ativo para o desempenho, na situação a tratar, na tarefa a desempenhar, no problema a resolver; dá a sua ajuda na escolha da informação, na evocação dos conhecimentos adequados, no controle (PLAISANCE; VERGNAUD, 2003, p. 68-69).

²²Para discussão desta seção, algumas pesquisas foram selecionadas, de modo a permear as contribuições e aplicações da TCC. Foram consultados então, artigos dos últimos dez anos que se enquadraram em periódicos qualificados em A1 e A2 (área de avaliação - ensino), categorizados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), disponibilizado pela Plataforma Sucupira, referente ao quadriênio 2013-2016. Dos periódicos encontrados, procuramos percorrer os que possuíam, de algum modo, escopo referente ao ensino de ciências.

Considerando essa perspectiva, no que diz respeito à TCC e ao ensino de ciências, vários autores vislumbraram o potencial das situações mediadas por uma teoria de interpretação cognitiva. Dentre os campos e situações contemplados, os temas, termodinâmica (GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2006), genética (SILVEIRA, 2008), estrutura da matéria (KREY, 2009), conhecimento estereoquímico (BUENO FILHO, 2010), conceitos químicos por meio de representações computacionais 3D (RAUPP, 2010), uso de situações para o ensino de soluções (PANE, et al., 2012), química verde (NASCIMENTO; BUENO FILHO, 2013), radioatividade (SCHEFFLER; DEL PINO, 2013), efeito fotoelétrico (LAMEU, 2014); fotossíntese (TAUCEDA, 2014), movimento retilíneo com aceleração constante (GALLEGO, 2015), análise volumétrica (MONTILLA; ARRIETA, 2015), transformação da matéria (PATIÑO, 2017), entre outros, foram desenvolvidos não somente como episódios de ensino, para os campos em questão, mas também para compreender os processos de aprendizagem desses campos conceituais.

Sobre situações, Escudero e Jaime (2007) investigaram a compreensão de 34 estudantes de engenharia, em uma disciplina de física da Universidad Nacional de San Juan - Argentina, sobre a dinâmica de um corpo rígido que era lançado em uma pista inclinada, que ao final possuía um *looping*, aplicado por meio da resolução de um problema em uma avaliação. Os autores afirmam que, ao elucidar o problema, os estudantes necessitavam decodificar os sistemas envolvidos, como a cinemática e dinâmica do movimento circular, a conservação de energia mecânica, entre outros (ESCUDERO; JAIME, 2007).

A TCC foi utilizada, nesse sentido, para compreensão dos significados elaborados pelos estudantes, considerando os conceitos explícitos, ou seja, os invariantes operatórios (conhecimentos-em-ação) na resolução do problema. Por intermédio dos conceitos explícitos, os pesquisadores puderam traçar cinco categorias de representações, focando nas limitações do movimento físico, apresentado no problema, como a não identificação de restrições, ou restrições nulas, restrições fisicamente impossíveis, até a consideração de diferentes restrições físicas, incorporando relações espaciais, geométricas, cinemáticas, dinâmicas, entre outros.

Escudero e Jaime (2007) afirmaram que foram apresentadas variadas formas de resolução da situação pelos estudantes, gerando, então, as cinco categorias de representação. Uma parte considerável dos estudantes (33%) conseguiu estabelecer todas as relações possíveis para a resolução, no entanto, isso não garante a conceitualização. Justificam assim, relevando a TCC que, para a compreensão deste processo, faz-se necessária a apropriação dos estudantes, bem como seu estudo, em outras situações, das quais estes conceitos façam parte.

Conseqüentemente, “em uma investigação se deve analisar uma maior variedade de ações e esquemas para compreender em que consiste, do ponto de vista cognitivo, este ou aquele conjunto de conceitos” (ESCUDERO; JAIME, 2007, p. 14, tradução nossa)²³.

Em continuidade a esse estudo, Escudero e Jaime (2009) utilizaram-se da mesma situação para compreender os conhecimentos-em-ação de outros 30 estudantes de um curso de engenharia da *Universidad Nacional de San Juan* – Argentina. Nesse caso, analisou-se a construção de relações pelos estudantes, entre o corpo lançado, a energia e forças presentes na situação. Também considerando as representações pertinentes as resoluções, foi possível categorizar as respostas e propor possíveis invariantes operatórios (ESCUDERO; JAIME, 2009).

Com o reconhecimento dos invariantes operatórios, Escudero e Jaime (2009) revelaram que, à medida que os teoremas-em-ação eram explicitados pelos estudantes, mais pertinente tornava-se a conceitualização sobre a situação. Normalmente, os estudantes possuíam as mesmas categorias de conceitos-em-ação como, inércia, força, variáveis angulares e lineares e, alguns casos, os alunos que não tiveram êxito em resolver a situação manifestavam mais conceitos-em-ação que os outros. Por este lado, os conceitos eram considerados pertinentes por estes indivíduos, no entanto não estabeleciam relações entre estes conceitos-em-ação (ESCUDERO; JAIME, 2009). Como considerações finais, os autores discutem a importância de se promover situações, das quais os aspectos teóricos sejam promovidos concomitantemente aos aspectos operacionais, assim os teoremas-em-ação podem ser estabelecidos.

Geralmente, quando os professores ensinam, sobretudo, aspectos teóricos, enfatizamos apenas estratégias para consolidar a "formação de conceitos". Por outro lado, apesar de importante a implantação feita sob formas operacionais, eles são, por si só, insuficientes para alcançar a conceitualização. É necessário que eles evoluam junto com as formas predicativas (ESCUDERO; JAIME, 2009, p. 129, tradução nossa)²⁴.

Jaime e Escudero (2011) também apresentaram, em outro estudo, algumas potencialidades advindas da TCC para elaboração de atividades experimentais em física,

²³Citação original: En una investigación se debe analizar una mayor variedad de actuaciones y esquemas para comprender en qué consiste, desde el punto de vista cognitivo, este o aquel conjunto de conceptos.

²⁴Citação original: Generalmente cuando los docentes enseñamos, sobre todo aspectos teóricos, hacemos únicamente hincapié en estrategias para consolidar “formación de conceptos”. Por otra parte, a pesar del importante despliegue hecho bajo formas operatorias, ellas en sí mismas son insuficientes para alcanzar la conceptualización. Es necesario que evolucionen conjuntamente con las formas predicativas, parece que de un modo distinto.

discutindo aspectos como as situações problemas, invariantes e desenvolvimento conceitual. Nesta perspectiva, os autores trataram do entrelaçamento entre o par esquemas/situações e discorreram sobre a importância das situações para o desenvolvimento de novos esquemas, além dos esquemas favorecerem o processo de compreensão das novas situações propostas.

Sob esta perspectiva, constataram que, 64 estudantes de física de um curso de engenharia, dos quais 34 participaram de atividades experimentais inovadoras e 30 de atividades experimentais tradicionais (JAIME; ESCUDERO, 2011), conceitualizavam e modelavam de diferentes formas as situações e conceitos propostos. Nesse sentido, foram fornecidas algumas situações, no caso das atividades inovadoras, que envolviam movimentos no plano vertical, das quais os estudantes necessitavam resolver, sem o auxílio de procedimentos, mas sim, de alguns questionamentos norteadores.

Em alguns casos, os estudantes não conseguiam ou pouco modelavam e conceitualizavam, pois tinham como objetivo apenas finalizar a tarefa (JAIME; ESCUDERO, 2011). Em uma instância mais complexa, os universitários incorporaram diferentes metodologias de trabalho, analisaram variados resultados, decorrentes dos procedimentos propostos, além de questionar limites de validade dos conceitos estudados, isto para as atividades experimentais inovadoras. Já nas atividades tradicionais, os pesquisadores conseguiram verificar apenas uma conformação para a resolução da atividade, em que foram certificados aspectos, como os erros que são decorrentes da ineficiência do experimento, a realidade tem um modelo físico-matemático genuíno, entre outros (JAIME; ESCUDERO, 2011).

Para os autores, ao orientar e avaliar a efetividade das dinâmicas experimentais, os objetivos de aprendizagem devem estar explícitos e sempre associados às questões conceituais, como conceitos, teoremas, representações (de acordo com a TCC), satisfazendo tanto aspectos metodológicos como teóricos, além das questões epistemológicas. Nessa acepção, é possível que os estudantes consigam traçar relações entre os conceitos e as representações, assim como verificado nesta investigação, o que também dependerá do tipo de abordagem preconizado na atividade experimental (JAIME; ESCUDERO, 2011).

A TCC foi utilizada, também, por Silva e Souza (2014) como aporte teórico para o ensino de tópicos de ótica, por meio do modelo ondulatório. Nesta pesquisa, várias situações de ensino foram propostas e mediante testes iniciais, durante as situações e finais, os pesquisadores identificaram conceitos e teoremas-em-ação, com o objetivo de evidenciar a aprendizagem de conceitos como, reflexão, interferência, difração, entre outros.

Isso posto, dois grupos, constituídos de 26 estudantes da Educação de Jovens e Adultos da rede pública do Distrito Federal, participaram das aulas de física. Em um dos grupos (16 alunos) foram desenvolvidas situações que tomavam como base os preceitos da TCC. O outro grupo, de uma turma diferente, foi denominado de “grupo de comparação” e as mesmas atividades foram propostas, com exceção das tarefas, das quais, era necessário argumentar sobre os fenômenos observados (SILVA; SOUZA, 2014).

Como instrumento de análise, Silva e Souza (2014) utilizaram os testes aplicados nos dois grupos, comparando posteriormente as notas alcançadas pelos estudantes. Em seus resultados, consideraram que os alunos dos dois grupos conseguiram expressar conhecimentos-em-ação mais coerentes, mas, como nos testes, os alunos submetidos às situações alcançaram valores mais expressivos em termos de notas, foi atribuído melhor desempenho para esta turma. Também foram comparados os invariantes operatórios do grupo submetido às situações, antes e depois, assim, Silva e Souza (2014) concluíram que as respostas foram mais positivas após a vivência das situações.

Bravo e Pesa (2016) também discutiram os conceitos de difração e interferência da luz, em atividades experimentais baseadas em situações aplicadas para 11 estudantes da licenciatura em física. Em consonância com os dados obtidos por Silva e Souza (2014), os pesquisadores verificaram que proporcionar situações de aprendizagem pode auxiliar no desenvolvimento cognitivo, não somente no que diz respeito à incorporação de novos conceitos e teoremas-em-ação, mas que, mediante este tipo de atividade, é possível perceber a integração entre os ingredientes que contém os esquemas. Assim, inferiram que, por meio das situações,

É detectada a incorporação gradual de novos conceitos e teoremas-em-ação, associados ao aumento de inferências; a reutilização permanente de invariantes operatórios em diferentes situações, dando-lhes, dessa forma, cada vez mais sentido e o aumento de regras de ação associadas à identificação de metas a atingir em cada atividade (BRAVO; PESA, 2016, p. 88).

Grings, Caballero e Moreira (2008b) também implementaram uma proposta didática utilizando situações problemas sobre temperatura, para 32 alunos de um curso técnico em eletrotécnica, do Rio Grande do Sul. Para essa investigação, 2 alunas se dispuseram a gravar seus diálogos durante a realização de 6 situações que versavam sobre situações cotidianas como, a percepção sobre o estado febril de uma pessoa, até situações mais complexas que envolviam considerações entre a temperatura de átomos e moléculas em repouso.

Por meio da conversa das estudantes, que foi transcrita, Grings, Caballero e Moreira (2008b) conseguiram identificar os momentos em que os ingredientes dos esquemas eram acionados, ou seja, as circunstâncias em que os invariantes operatórios eram mobilizados durante a situação, mediante a identificação dos componentes conceituais. Também verificaram a definição dos objetivos pelas estudantes, concretizados pela identificação da tarefa a ser desenvolvida, nesse sentido, os pesquisadores consideraram a pertinência a esta categoria a partir do momento em que as participantes do estudo compreendiam, de fato, o problema (GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2008b). Similarmente, observaram as inferências, baseados em conclusões e suposições tiradas a partir da leitura dos enunciados, que posteriormente eram discutidas, incrementadas ou refutadas.

De acordo com Grings, Caballero e Moreira (2008b), este tipo de estudo mostrou-se relevante, pois, por meio da proposição de situações significativas, foi possível verificar o possível desenvolvimento de esquemas relacionados ao conceito de temperatura, já que as estudantes eram confrontadas com novas e mais complexas situações.

Sob esta perspectiva, a das situações, Krey e Moreira (2009) investigaram o ensino de conceitos sobre a física de partículas, para futuros professores de física de um centro universitário no Rio Grande do Sul, com o objetivo de entender se a proposição de situações significativas poderia ajudá-los na compreensão de conceitos relativos ao tema, além de proporcionar estratégias para que os futuros professores de física tivessem condições de transpor os conceitos de física moderna para a sala de aula.

A pesquisa consistiu de duas etapas. No primeiro momento, a disciplina foi conduzida de forma tradicional, como denominado pelos pesquisadores e houve 28 alunos participantes. Ao final, eles elaboraram um texto, destinado ao ensino médio sobre o conteúdo, além de responder a um questionário avaliativo da disciplina, considerando a metodologia, a avaliação, a atuação do professor, entre outros (KREY; MOREIRA, 2009). Em um segundo momento, outra disciplina foi ofertada a 37 alunos na mesma instituição. Nesse caso, as discussões foram conduzidas por meio de argumentação, tarefas, exemplos de situações, analogias e questionamentos, de modo que as reflexões eram necessárias. Também para a avaliação da aprendizagem, os estudantes produziram o texto (como da turma do primeiro momento), bem como um mapa conceitual, além de apontamentos gerais sobre o andamento da disciplina.

Por meio da análise do material produzido pelos alunos (textos, mapas, questões), Krey e Moreira (2009) conseguiram identificar que a metodologia que considerava as

situações e que foi construída com base nos referências da TCC foi facilitadora da aprendizagem dos alunos da segunda turma, segundo a perspectiva dos alunos, enquanto que, na primeira turma, a metodologia foi criticada por quase todos os estudantes. Para os alunos da primeira etapa, os conceitos abordados tinham pouca aplicabilidade no ensino médio, enquanto que para a segunda turma, tanto a metodologia quanto os conteúdos foram avaliados como importantes e extensíveis ao ensino básico (KREY; MOREIRA, 2009). Assim, os autores concluíram que a aprendizagem por meio das situações pode ser significativa ao ponto de os futuros professores considerarem tanto a metodologia de ensino, quanto o conteúdo de física de partículas no ensino básico.

Embora os resultados apresentados por Krey e Moreira (2009) tenham sido considerados positivos pelos autores, Fanaro, Otero e Moreira (2009) relataram em sua pesquisa, sobre a noção de sistema quântico, desenvolvida por intermédio da aplicação de situações sobre a experiência da dupla fenda, com 30 alunos do final do ensino médio, que reconstruir alguns significados sobre a física moderna pode ser complexo, e requer muito esforço, especialmente porque teoremas-em-ação construídos ao longo da escolaridade podem dificultar a conceitualização, por exemplo, do elétron como uma pequena bolinha capaz de atravessar paredes e não como um sistema quântico (FANARO; OTERO; MOREIRA, 2009).

Para o ensino da radioatividade, Scheffler e Del Pino (2013) também se utilizaram da TCC para construir uma sequência didática, que foi avaliada posteriormente, mediante a identificação de invariantes operatórios e evolução conceitual dos alunos participantes. Para que tal pesquisa fosse desenvolvida, os autores iniciaram com a construção de um mapa conceitual sobre o tema radioatividade e por meio dos conceitos envolvidos, produziram a sequência didática que envolvia leitura de textos, pesquisa, apresentação, entre outros, e que foi aplicada na disciplina de Química a 10 alunos de um curso técnico de radiologia de uma escola técnica em Porto Alegre (SCHEFFLER; DEL PINO, 2013).

Com o objetivo de avaliar as contribuições da TCC no planejamento das aulas sobre radioatividade (SCHEFFLER; DEL PINO, 2013), os pesquisadores utilizaram-se de 3 momentos para verificação da aprendizagem, iniciando com um questionário, seguido de um outro questionário que foi aplicado no decorrer das atividades e, por final, um outro questionário.

Com relação ao questionário inicial, que tinha a finalidade de avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes em radiologia, bem como caracterizá-los, poucos alunos conseguiram conceituar e relacionar os conceitos que envolvem a radioatividade, como

a emissão de radiação e suas aplicações, além do conceito de meia-vida (SCHEFFLER; DEL PINO, 2013). Já para o questionário intermediário e final, os estudantes responderam bem a questões que versavam sobre as reações nucleares, emissão de radiação, detectores de radiação, entre outros. Segundo Scheffler e Del Pino (2013), a melhoria nas explicações e discussões no questionário intermediário e final, são indicativos de que a “metodologia desenvolvida e a abordagem dos conteúdos na sequência didática foram efetivas (SCHEFFLER; DEL PINO, 2013, p. 39)”, apesar de algumas ideias ainda não estarem fundamentadas pelos estudantes, como a instabilidade nuclear.

A título de considerações finais, Scheffler e Del Pino (2013) consideraram que a TCC pode ser uma ferramenta importante para o desenvolvimento de planejamentos pedagógicos, já que a seleção e análise das situações propostas podem favorecer a evolução conceitual sobre os temas estudados. A TCC também se mostrou relevante na identificação dos possíveis invariantes operatórios, demonstrados, neste caso, mediante as justificativas dos alunos. Com a identificação dos invariantes, foi possível conhecer as dificuldades dos estudantes, o que, sob a ótica dos autores, pode auxiliar no desenvolvimento de práticas pedagógicas mais significativas (SCHEFFLER; DEL PINO, 2013).

Parisoto, Moreira e Moro (2013) também investigaram a construção de alguns conceitos relativos à física aplicada à medicina, em um curso ofertado a 6 indivíduos, com o objetivo de identificar possíveis teoremas e conceitos-em-ação mobilizados durante a discussão de algumas situações. Neste seguimento, os autores conseguiram indicar que, por meio das situações propostas, os participantes conseguiram estabelecer relações mais concretas entre os conceitos físicos (radiação, densidade, contraste, voltagem, energia e outros) e sua aplicação na medicina, de forma que, alguns equívocos não foram observados ao final das atividades.

A proposição de atividades com vistas às situações mostrou-se significativa no desenvolvimento cognitivo dos indivíduos que participaram das pesquisas discutidas. Nesse sentido, não se tratou de interpretar pelos alunos os conhecimentos científicos, mas sim, em propor situações, que foram satisfatoriamente escolhidas. Segundo Vergnaud (2007b), este é o primeiro ato de mediação da educação, e neste sentido, o professor, com objetivo ou não de investigação, pode estimular ramificações espontâneas dos conhecimentos já existentes, promovendo a mobilidade da reflexão dos alunos de uma situação à outra, ampliando assim a classe de situações da qual o esquema pode explicar.

Do mesmo modo, o conhecimento prévio do professor, frente a algumas concepções e dificuldades dos alunos, pode auxiliar na promoção de situações conflitantes, que causem desequilíbrios sobre essas concepções. Similarmente, “se os estudantes não são desestabilizados, eles não têm motivos para aprender” (VERGNAUD, 2007, p. 288, tradução nossa)²⁵.

Nessa perspectiva, os conceitos de sistema e equilíbrio foram problematizados por Covaleda, Moreira e Caballero (2009). Segundo os autores, esses conceitos são essenciais e atuam como mediadores na compreensão de outros fundamentos como energia, calor, temperatura, transformação e conservação, portanto, a investigação da conceitualização pelos estudantes se faz relevante (COVALEDA; MOREIRA; CABALLERO, 2009). A utilização da TCC abrangeu a identificação de obstáculos de aprendizagem sobre o tema.

Assim, a pesquisa compreendeu a aplicação de um questionário, no início e final de uma disciplina de física, composto de 16 perguntas, para 25 alunos da faculdade de engenharia da universidade de Antioquia - Colômbia, e que envolviam situações problemáticas sobre os conceitos de equilíbrio e sistema. Para a análise, os pesquisadores consideraram que as respostas continham expressões de seus invariantes operatórios, e que, das respostas (invariantes) se definiram as categorias, que foram delimitadas pelos conceitos aceitos ou não aceitos cientificamente. Dessa forma, os conceitos de equilíbrio e sistema foram considerados de maneira mais expressiva nas situações contidas no questionário final, não somente no que diz respeito aos fundamentos “isolados”, mas também quando aplicados em outras situações que exigiam certos relacionamentos (COVALEDA; MOREIRA; CABALLERO, 2009).

Em vista disso, Covaleda, Moreira e Caballero (2009) afirmaram que é normal o indivíduo utilizar-se de conhecimentos não adequados inicialmente, mas, segundo a TCC, eles são precursores na compreensão de conhecimentos científicos, o que foi observado na investigação. Para eles, quando se enfrenta uma nova situação, como ocorrido na pesquisa, mediante questionário inicial, faz-se uso de conhecimentos implícitos, presentes nos invariantes operatórios, mas que não são adequados para justificar tal situação. Desse modo, faz-se necessário propor diferentes situações, para que os estudantes consigam explicitar estes conhecimentos de modo a complementá-los ou, ainda, para que não se tornem obstáculos na aprendizagem destes ou outros conceitos (COVALEDA; MOREIRA; CABALLERO, 2009).

²⁵Citação original: Si no se desestabiliza a los alumnos, no tienen ninguna razón para aprender.

Apesar das perspectivas positivas, considerando algumas proposições da TCC, como a dos invariantes, das situações e da importância dos símbolos e também sustentados nas concepções de que a aprendizagem ocorre por meio de continuidades e rupturas, Grings, Caballero e Moreira (2008a), no campo conceitual da termodinâmica, analisaram os avanços e retrocessos apresentados por 4 estudantes de cursos técnicos de uma escola do Rio Grande do Sul, recorrendo a análise dos invariantes operatórios, incluindo as dificuldades, em três conjuntos de questões que foram respondidas por eles, e justificadas através de entrevista posterior. As questões consideravam ideias como a transferência de calor, aumento e diminuição de energia interna, sua relação com o trabalho e o calor, e sua dependência com a temperatura.

Como os participantes da pesquisa haviam sido estudantes em uma disciplina que fomentava discussões sobre a termodinâmica, os autores conseguiram identificar que algumas dificuldades permaneciam, mesmo após o percurso da disciplina, haja vista que, alguns invariantes operatórios como, só há transferência de calor quando existe contato direto entre os corpos, além de considerarem que é primordial uma fonte de calor para que algo tenha sua temperatura aumentada, já tinham sido identificados pelos pesquisadores em situações anteriores (GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2008a).

Ao longo da pesquisa, e referenciados pela TCC, os autores (GRINGS; CABALLERO e MOREIRA; 2008a) conseguiram demonstrar que a compreensão de um campo conceitual é um caminho complexo, manifestado por avanços e retrocessos que dependerão de questões como o entendimento adequado dos símbolos e dos conhecimentos que ainda se mantêm implícitos, portanto, podem ser inadequados do ponto de vista científico, o que tornam necessárias, novas negociações, promovidas por novas situações (GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2008a).

Nesse sentido, Hilger e Oliveira (2012) pesquisaram algumas dificuldades de 34 alunos de engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sobre a força de atrito. Com a aplicação de uma avaliação ao final de uma disciplina de física, foi examinada uma das questões deste instrumento, em que foi constatado que 28 estudantes haviam usado o mesmo teorema-em-ação, mas que para a situação não era considerado pertinente. Como considerações finais, os autores apoiaram-se na TCC para justificar a necessidade em propor situações mais significativas aos alunos e com complexidades crescentes, de forma que, aos poucos, os alunos pudessem julgar a pertinência do teorema-em-ação utilizado pela maioria, e

ainda, buscassem o desenvolvimento de outros conceitos e teoremas-em-ação (HILGER; OLIVEIRA, 2012).

Sobre a origem do universo e origem da vida, Tauceda, Nunes e Del Pino (2013), desenvolveram uma pesquisa que buscava investigar os conceitos elaborados por 30 alunos do 1º ano do ensino médio de uma escola pública de Porto Alegre sobre a temática, na disciplina de biologia. Com isso, os pesquisadores procuraram analisar os possíveis invariantes operatórios dos estudantes, comparando-os com alguns conceitos científicos, além de buscar compreender as dificuldades trazidas por eles. Assim, foram aplicadas, aos estudantes, duas situações problema (uma no início das atividades e outra ao final), que versavam sobre a origem dos seres vivos e do universo, em que algumas informações eram dispostas e os estudantes necessitavam argumentar sobre elas (TAUCEDA; NUNES; DEL PINO, 2013).

Por meio das respostas, os autores classificaram os argumentos em cientificamente aceitos, híbridos e cientificamente inadequados. Notou-se que após a participação nas atividades, que consistiram de debates, filme, pesquisa de campo e em laboratório, que envolviam, dentre outros aspectos, os contextos históricos em que ideias científicas e folclóricas foram construídas, os estudantes foram capazes de elaborar justificativas mais estruturadas e diversificadas, o que indicou acréscimo de teoremas-em-ação relativos à origem do universo e da vida (TAUCEDA; NUNES; DEL PINO, 2013).

Por outro viés, alguns estudantes incrementaram suas justificativas, mas mantiveram suas respostas voltadas aos conceitos cientificamente inadequados. Sob a perspectiva dos autores, “se identificou possíveis indicadores de teoremas-em-ação, não científicos (místicos), que provavelmente dificultaram a explicitação e compreensão das teorias da origem do universo e da vida (TAUCEDA; NUNES; DEL PINO, 2013, p. 106)”. Apesar destas dificuldades, Tauceda e Del Pino (2013) julgaram adequada a identificação dos invariantes operatórios, pois por meio deles é possível readequar as atividades realizadas, além de refletir sobre novas estratégias em outras propostas.

Por consequência, o tratamento destas situações pelos alunos, como das investigações mostradas, pode desenvolver infinitos esquemas, pois cada situação é singular e, sendo ela significativa, será fonte de conhecimentos. No entanto, a forma já desenvolvida pelos alunos para resolver estas situações não revela o caminho pelo qual percorreram para que determinada situação seja considerada fonte de conhecimento. Assim, Vergnaud considera que,

A melhor maneira de abordar as coisas é considerar a evolução do comportamento de um sujeito anterior a uma classe de situações: das primeiras formas de conduta que ele adota nas formas amplamente automatizadas quando o conhecimento e o know-how necessários são adquiridos (VERGNAUD, 1991, p.80, tradução nossa)²⁶.

Nesse seguimento, Henríquez, Jiménez-Gallardo e Díaz-Pinto (2013) tinham como objetivo compreender como alunos (125) de engenharia aprendiam física, mais especificamente os conceitos de força e energia. Para isso, foram aplicadas situações antes e depois da disciplina de física, das quais as respostas dos estudantes aos questionários puderam ser enquadradas em 4 categorias de análise, pré-definidas pelos pesquisadores, sendo classificação, representação, operação e resolução.

Na primeira categoria, faziam-se pertinentes as características invariantes do campo conceitual, como vetor, função, força-movimento, entre outros, que poderiam ser utilizados pelos estudantes. Na segunda categoria, foi designado o uso de invariantes que se referiam ao conjunto das representações simbólicas, como gráficos, equações, expressões algébricas. Já para a terceira categoria, foram considerados os invariantes de procedimento, ou seja, conhecimento e aplicação das situações. Na última categoria, explorou-se os esquemas conceituais dos alunos, em termos de relações e conceitos aceitos cientificamente (HENRÍQUEZ; JIMÉNEZ-GALLARDO; DÍAZ-PINTO, 2013). Nesse sentido, a TCC foi adotada como referencial para o estudo, na classificação das respostas e também para o seu entendimento.

Como resultados, derivados das respostas ao questionário inicial, os pesquisadores apontaram a predominância de cálculos, com pequeno uso de representações simbólicas adequadas a situações, assim foi considerada baixa a compreensão dos conceitos científicos. Neste caso, a categoria mais expressada se voltou às características invariantes do campo conceitual. Após a participação na disciplina, foi possível reconhecer que os estudantes puderam transitar entre as categorias apresentadas, mantendo certo equilíbrio em termos de representações, procedimentos e esquemas conceituais (HENRÍQUEZ; JIMÉNEZ-GALLARDO; DÍAZ-PINTO, 2013), o que foi indicado positivo em termos de aprendizagem.

Por este ângulo, Vergnaud (2007b) sinaliza que o conhecimento científico envolve, por vezes, situações das quais as relações e aprendizagens não se fazem explícitas e, neste

²⁶Citação original: La meilleure manière d'aborder les choses paraît être de considérer l'évolution des conduites d'un sujet devant une classe de situations : depuis les premières formes de conduite qu'il adopte jusqu'aux formes largement automatisées qu'elles prennent lorsque les savoirs et savoir-faire nécessaires sont acquis.

caso, a mediação do professor é essencial. Nos dizeres de Vergnaud (2007b), um aluno dificilmente desvenda uma fórmula por si próprio. Existem lacunas entre o que se observa e como a ciência interpreta esta realidade. Assim, este tipo de cultura deve ser introduzida pelo mediador de forma que os estudantes possam interpretar e reinterpretar a realidade a sua volta, questionando-a.

Considerando esta proposição, a TCC pode ser utilizada não somente em conhecimentos científicos, mas também para compreender a construção de metaconceitos como o apresentado por Brandão, Araújo e Veit (2010), que identificaram concepções e dificuldades de 8 professores de física do ensino médio, no campo conceitual da modelagem científica. À vista disto, os pesquisadores constataram que os professores confundiam modelos científicos com teorias e apresentavam pontos de vista variados sobre os termos idealização, aproximação, referente, parâmetro, entre outros.

Além dos conceitos científicos e metaconceitos, o ensino por investigação também foi considerado por Matos e Martins (2011) como um campo conceitual. Os autores verificaram, durante formação continuada de uma professora, que alguns conhecimentos-em-ação foram ampliados, o que, na ótica dos pesquisadores, revelou como frutífera a TCC para a construção e compreensão das ramificações do campo conceitual de ensino por investigação com professores. Já Acioly-Régnier e Monin (2009), discutiram sobre papel e a função da psicologia na formação de professores franceses das séries iniciais do ensino fundamental, utilizando-se da TCC para compreensão dos esquemas desenvolvidos por meio das situações pedagógicas.

Tauceda (2014) também ponderou sobre a temática da formação de professores com o uso da TCC, de forma que, com a proposição e resolução de situações-problemas, os professores em formação continuada e inicial necessitaram ressignificar alguns conceitos, como os pedagógicos, por exemplo. Andrade e Acioly-Régnier (2016) utilizaram a TCC com o objetivo de analisar o desenvolvimento de competências e conceitos, como o da liderança entre os alunos, por meio de um dispositivo que simulava situações conflituosas, na formação inicial de professores franceses das séries iniciais. Stipich, Moreira e Caballero (2007) propuseram um modelo para analisar, nas aulas de física, as interações discursivas, integrando as perspectivas discursivas, didáticas e psicológicas, de modo a compreender o processo de conceitualização em sala de aula.

Plaisance e Vergnaud (2003) discutem então que, por meio do estudo das didáticas, da epistemologia e da psicologia, é possível compreender a forma como os conhecimentos são desenvolvidos e também como foram manifestados no decorrer da história da ciência.

Considerando esta perspectiva, Otero (2010) estudou a noção de situação, analisando as convergências e divergências sobre o tema, encontradas entre a Teoria dos Campos Conceituais (Vergnaud), a Teoria das Situações (Brousseau), a Dialética do Instrumento/Objeto (Régine Douady) e a Teoria Antropológica da Didática (Chevallard). Figueroa e Otero (2011) apresentam algumas noções fundamentais exemplificadas da Teoria dos Campos Conceituais, como conceito, esquema, situação, forma operatória e predicativa do conhecimento, traçando também vinculações da TCC com a didática, discutida por Chevallard. Já Andrade Neto, Raupp e Moreira (2009) enfatizaram que nos processos de construção histórica da representação da linguagem química só houve ampliações dos invariantes operatórios frente aos indivíduos que participaram desse processo, devido ao aumento da conceitualização do que seria um composto químico, mediados pelas representações que eram exigidas frente a novas situações.

Em contrapartida, do ponto de vista da matematização das equações físicas, Anjos, Sahelices e Moreira (2015), também discutiram a importância das equações matemáticas no ensino de física e, por consequência, investigaram sobre seu tratamento em 6 livros didáticos de física do ensino médio, aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). Em decorrência da análise, os autores conseguiram discorrer sobre o excesso do formalismo matemático evidenciado em 5 dos 6 livros examinados. Nesse sentido, as expressões matemáticas declaravam, necessariamente, os conceitos e definições, como se, somente nos símbolos matemáticos estivessem contidas as bases conceituais (ANJOS; SAHELICES; MOREIRA, 2015).

Isto posto, os autores argumentam que, os conhecimentos-em-ação (teoremas e conceitos-em-ação), podem relacionar-se “mais com os aspectos operacionais das expressões matemáticas do que com os conceitos físicos envolvidos na situação-problema proposta (ANJOS; SAHELICES; MOREIRA, 2015, p. 323)”, o que dificultaria o processo de conceitualização, pois, sob esta perspectiva, os estudantes não necessitam compreender os aspectos físicos, mas sim, ter domínio sobre o conhecimento procedimental. Por esse motivo, a TCC é utilizada por Anjos, Sahelices e Moreira (2015) como recurso argumentativo de que, um conceito é formado, inclusive por um conjunto de representações simbólicas, no entanto, seu sentido está contido nas situações enfrentadas pelos sujeitos e na forma como as

representações e situações são significadas pelos invariantes operatórios (ANJOS; SAHELICES; MOREIRA, 2015, p. 323).

Nessa ótica, os campos conceituais podem ser pensados na perspectiva da contextualização e da interdisciplinaridade, tanto no que diz respeito à construção de um conceito aceito socialmente, como no sentido da construção cognitiva, fornecendo um bom referencial para o estudo, desenvolvimento e compreensão de práticas nessas tendências. Não é possível tratar o conhecimento científico ou a construção dele na escola sem levar em consideração os objetos e predicados criados pelo sujeito em uma estreita relação com o contexto social, cultural, científico, entre outros.

Assim, Ledesma (2012), com o propósito de analisar o desenvolvimento cognitivo de dois alunos do curso técnico em Tecnologia de Alimentos, investigou, por meio de representações em situações contextualizadas, os processos que envolviam a resolução de atividades sobre o estudo das soluções químicas, dos quais eram utilizados sistemas de equações algébricas. Em função do quadro teórico, a autora discorre sobre algumas questões pertinentes a TCC como, as situações problemáticas e o processo de representação, buscando argumentar sobre a importância dos símbolos matemáticos e sua relação com a modelagem do mundo e da imaginação (LEDESMA, 2012).

Deste modo, os alunos foram observados durante um trimestre em uma disciplina de matemática do curso de Tecnologia de Alimentos, que também tem em seu escopo de disciplinas a Química. Os estudantes necessitavam resolver problemas do tipo “100 mL de solução de açúcar a 60% e 100 mL de solução de açúcar a 35%. A partir destas soluções, é desejado obter 100 mL de uma solução de açúcar até 50%” (LEDESMA, 2012, p. 401, tradução nossa)²⁷ e com isso, as representações fornecidas por meio das resoluções, foram analisadas durante o processo.

Mediante as representações dos alunos, Ledesma (2012) verificou que diferentes operações do pensamento eram usadas durante a resolução das situações, assim, classificou os tipos de representações encontrados, indicados como:

Representação proposicional: descrição geral feita pelo aluno, podendo estabelecer relações gerais, por exemplo, entre a química e a matemática;

²⁷Citação original: 100 ml of sugar solution to 60% and 100 ml of sugar solution to 35%. From these solutions it is desired to obtain 100 ml of a sugar solution to 50%.

Representação figurativa não operacional: percebe a informação do evento, mas não consegue estabelecer relações para a sua resolução;

Representação operacional figurativa: continua a fazer descrições gerais, mas, leva em consideração informações numéricas. Inicia o processo de compreensão do vínculo entre a matemática e a química;

Representação análoga: começa a buscar relações com outros eventos para resolução da nova situação;

Representação simbólica: o estudante começa a utilizar, mais claramente, os objetos matemáticos para a sua conceitualização e a conceitualização do contexto, utilizando-se da representação matemática, aritmética, algébrica, analítica ou gráfica para expressar o evento (LEDESMA, 2012).

Determinando as formas de representação encontradas, Ledesma (2012) concluiu que, à medida que os alunos eram postos em diferentes situações, suas representações eram modificadas e emergiam naturalmente. Também discute que a construção do conhecimento dos alunos, com relação à conceitualização dos sistemas de equações algébricas lineares e de misturas de substâncias químicas, estava diretamente vinculada aos tipos de representações, assim, os alunos utilizavam inicialmente representações proposicionais e, por fim, representações simbólicas (LEDESMA, 2012).

Souza (2013) apresentou como objetivo de pesquisa, compreender de que maneira a construção do Manzuá pode contextualizar aulas inovadoras de física e matemática no ensino médio. Para isso, o autor recorreu à abordagem etnográfica como metodologia, contextualizando sua experiência enquanto pesquisador ao acompanhar um dos ribeirinhos da aldeia de pescadores do município de Augusto Correia, no Estado do Pará. Souza (2013), utilizando de gravações de áudio e vídeo, entrevistou o ribeirinho para compreender os saberes, denominados por ele de tradicionais, utilizados na construção do Manzuá, artefato de bambu, utilizado na pesca local.

Por meio da fabricação do Manzuá e dos conhecimentos espontâneos trazidos pelo ribeirinho, como força, densidade, flexão, Souza (2013) indicou uma série de possibilidades para contextualização de conceitos da matemática e da física. Segundo o investigador, conhecendo os invariantes operatórios (conhecimentos-em-ação e teoremas-em-ação), e modelos mentais utilizados pelo ribeirinho, seria possível compreender os conhecimentos físicos e matemáticos envolvidos no processo de confecção do Manzuá.

Dessa forma, ao final do artigo, Souza (2013) propôs possíveis situações-problemas, os conceitos físicos envolvidos e os modelos matemáticos que poderiam ser utilizados em sala de aula no ensino básico. Conclui ainda que, a maneira pela qual o Manzuá pode contextualizar o ensino de física e matemática se dá pelas possibilidades epistemológicas (etnomatemática e etnofísica), cognitivas (modelos mentais e invariantes) e metodológicas (situações-problemas e modelagem matemática) trazidas em sua confecção.

Assim, com base na discussão levantada no decorrer do texto, bem como nos trabalhos citados, podemos vislumbrar o vasto espectro de possibilidades nas quais a TCC pode contribuir para a reflexão da forma como os conceitos são construídos pelos indivíduos, como também no planejamento de atividades que sejam potencialmente significativas para o ensino de conceitos científicos.

CAPÍTULO 2: A ESTEQUIOMETRIA COMO UM CAMPO CONCEITUAL

Um campo conceitual é definido por Vergnaud (1982; 1990; 1996; 2013a) como um conjunto de situações que exigem a utilização de determinado conceito. Neste caso, o campo conceitual da estequiometria pode ser indicado pelo seu uso, em situações que o requeiram e também que exijam o emprego de conceitos e teoremas que o compõem. Por conseguinte, apresentaremos neste capítulo, por meio da perspectiva histórica, a construção do campo conceitual da estequiometria, de forma a delimitar alguns conceitos e situações que constituíram e constituem este campo conceitual.

2.1 A CONSTRUÇÃO DO CAMPO CONCEITUAL DA ESTEQUIOMETRIA: UM PANORAMA HISTÓRICO

A estequiometria é um dos conteúdos mais importantes no estudo da química, pois, é por meio dela que se compreendem as relações de massa, de proporção e de conservação em uma reação, trazendo, assim, embasamento para melhor entendimento de diversos outros conceitos (BOUJAOUDE; BARAKAT, 2003; SANTOS; SILVA, 2014; BATINGA; TEIXEIRA, 2014). Dessa forma, quaisquer conceitos trabalhados em outros temas de química que exijam a lógica quantitativa, como equilíbrio, cinética, termodinâmica, reações químicas, impreterivelmente recorrerão a este conteúdo.

O termo estequiometria foi inicialmente proposto por Jeremias Benjamim Richter (1762-1807) em 1792 no livro intitulado "Princípios de Estequiometria ou a Arte de Medir Elementos Químicos" (*Anfangsgrunde der Stochyometrie oder Messkunst Chymischer Elemente*, RICHTER, 1792, p. xxix), derivado da junção entre dois termos gregos "stoicheion" que significa elemento e "metron", que significa medida (RICHTER, 1792, p. xxix):

[...] eu frequentemente fui conduzido, durante experimentos químicos, à considerar o problema se e, em que medida, a química é realmente um ramo da matemática aplicada; isto surgiu, especialmente na descoberta familiar, de que dois sais neutros, ao reagirem, uns com os outros, novamente produzem compostos neutros. A conclusão direta que tirei desse fato não pode ser diferente de que deve haver relações de peso definidas entre os componentes dos sais neutros. A partir desse momento, cogitei como essas relações

podiam ser descobertas, em parte por provas precisas e, em parte, combinando análise química com análise matemática. . .

Uma vez que, a parte matemática da química trata principalmente de materiais que são substâncias ou elementos indestrutíveis e ensina como as proporções relativas, entre eles, são determinadas, não consegui encontrar um nome mais curto e mais adequado para esta disciplina do que a palavra estequiometria de *στοιχειον* que, na língua grega denota algo que não pode ser subdividido, e *μετρειν*, o que significa encontrar proporções de magnitude (RICHTER, *apud*, SZABADVÁRY; OESPER, 1962, p. 268, tradução nossa)²⁸.

Richter cunhou o termo estequiometria, ao refletir sobre alguns aspectos de sua experiência enquanto estudante de filosofia e matemática na Universidade de Königsberg e posteriormente de química (SZABADVÁRY; OESPER, 1962; MAAR, 2011) também foi substancialmente influenciado por seu professor de filosofia, Immanuel Kant, levando assim a consideração de que, só se julga uma ciência como verdadeira se ela puder ser matematizada (SZABADVÁRY; OESPER, 1962). Nesse sentido, em contrapartida aos preceitos empíricos da química da época, Richter, decidiu acrescentar aspectos matemáticos à química.

Dessa forma, por meio de dados empíricos, mas preocupando-se essencialmente com a matematização, Szabadváry e Oesper (1962, p. 268) interpretaram que, o extenso trabalho de Richter poderia ser resumido nas seguintes ideias:

- Os compostos têm composição constante;
- Se a mesma quantidade de um ácido é neutralizada por diferentes quantidades de duas bases, a neutralização destas quantidades destas bases requer quantidades iguais de qualquer ácido;
- Quando dois sais reagem um com o outro, e se a relação quantitativa de seus componentes é conhecida, a relação de quantidade dos componentes nos produtos da reação também pode ser calculada.

²⁸Citação original: I frequently was led during chemical experiments to consider the problem whether and to what extent Citação original: chemistry is really a branch of applied mathematics; it arose especially in the familiar finding that two neutral salts, on reacting with each other, again produce neutral compounds. The direct conclusion which I drew from this fact could be no other than that there must be definite weight relationships between the components of the neutral salts. From that time on I cogitated as to how these relationships could be discovered, partly by precise trials, and partly by combining chemical analysis with mathematical analysis Since the mathematical part of chemistry deals mostly with materials that are indestructible substances or elements and teaches how the relative proportions between them are determined, I was not able to find a shorter or more fitting name for this discipline than the word stoichiometry from *στοιχειον*, which in the Greek language denotes something which cannot be further subdivided, and *μετρειν*, which means finding proportions of magnitude.

Richter reconheceu a relação de proporcionalidade em massa, entre reagentes, e, admitindo que se a composição em massa dos reagentes podia ser conhecida, a relação entre massa dos produtos também podia ser determinada matematicamente. Para que esta relação pudesse ser compreendida, Richter em seus livros indicou uma série de exemplos nos quais demonstrou matematicamente a proporção entre ácidos e bases em uma reação, baseado nos seguintes dados experimentais (SZABADVÁRY; OESPER, 1962):

Partindo de 2400 grãos (unidade utilizada por Richter) de CaCO_3 , são formados 1342 grãos de CaO . Assim²⁹,

2400 grãos de CaCO_3 formam 1342 grãos de CaO

Sabendo também que 5760 grãos de HCl reagem com 2393 grãos de CaCO_3 o resíduo da evaporação, após a ignição, pesa 2544 grãos. Dessa forma,

5760 grãos de HCl reagem com 2393 grãos de CaCO_3 e formam 2544 grãos de resíduo

Portanto é possível determinar matematicamente a proporção entre HCl e CaO que seria 5760 de HCl para 1337 de CaO . Então,

5760 grãos de HCl neutralizam 1337 grãos de CaO

Considerando que, como o resíduo da reação entre HCl e CaCO_3 , formou 2544 grãos de CaCl_2 e que Richter ponderava que a massa do sal era resultante da soma das massas da base e do ácido, foi possível calcular, por meio da subtração da massa do sal (2544 grãos) e a massa da base (1337 grãos), a massa de ácido pura utilizada (RICHTER, 1792, p. 5-6). Logo,

1207 grãos de HCl puro neutralizam 1337 grãos de CaO

Mediante essas considerações, Richter (1792) propôs variadas relações que, até então, não haviam sido estabelecidas e que foram relevantes para estudos posteriores. Nesta conjuntura, não só conseguiu indicar correspondências diretas entre reagentes, como no caso do HCl e CaCO_3 , mas também estabeleceu associações entre as massas de reagentes e produtos, como em CaCO_3 e CaO , além de propor correlações entre reações paralelas, como no caso do HCl e CaO , evidenciado a proporcionalidade entre as massas experimentais.

Concomitante a Richter, os trabalhos de Antoine Laurent de Lavoisier (1743 –1794) também foram fundamentais na sistematização da química, por conta de suas publicações e experimentos que tratavam dos processos de conservação da matéria. Nesse sentido, Martins e

²⁹ Nomenclatura modificada para correspondentes atuais

Martins (1993) discutiram sobre a temática, utilizando a perspectiva histórica e, segundo os autores, este assunto apresentou-se implicitamente, ao longo da história da ciência, seja baseado em reflexões filosóficas, em concepções de mundo, como nos trabalhos de Aristóteles, por exemplo, em que a conservação da matéria podia ser interpretada como “matéria é aquilo que permanece constante quando algo se transforma (MARTINS; MARTINS, 1993, p. 245)”, ou ainda, derivados de eventos experimentais, mas que, não denotavam uma demarcação sobre o problema.

Com as investigações sobre os gases atmosféricos, alguns estudos mais sistematizados foram realizados, mas, como até o final do século XVIII o papel dos gases nas reações químicas ainda não era compreendido, a conservação das massas não poderia ser articulada (MARTINS; MARTINS, 1993).

Nesse sentido, foi a partir do isolamento do gás oxigênio e da sistematização de sua participação em reações químicas, elaborada por Lavoisier, que foi possível pensar de maneira mais engendrada a conservação das massas em uma reação. Conforme Maar (2011), as ideias de Lavoisier contribuíram para racionalizar a quantificação, pois, além de utilizar dados empíricos, Lavoisier tratava de forma mais analítica estas informações, apegando-se também às questões das quantidades.

Um dos experimentos, dentre vários, realizado por Lavoisier e que inclui tanto a vertente quantitativa como a participação do oxigênio, consistiu em colocar uma quantidade de fósforo, que teve sua massa determinada, em uma cápsula de ágata dentro de um recipiente de vidro. Focalizando uma lente sobre o fósforo, Lavoisier queimou o material que teve a formação de uma fumaça branca e a formação de um pó branco, que posteriormente foi dissolvido em água destilada. A solução resultante foi transferida para um balão, e o nível da solução foi anotado, bem como a massa do conjunto. Depois o balão foi esvaziado e preenchido com água destilada até o nível anteriormente anotado (LAVOISIER, 1798). Determinou-se também o valor da massa. Com isso, Lavoisier observou a diferença de massa, que foi maior, com a obtenção da possível massa do pó obtido anteriormente. Desta forma conclui:

É claro que, com o auxílio dessas diferentes precauções, foi fácil determinar, 1º o peso do fósforo queimado, 2º a dos flocos brancos obtidos por combustão; 3º o peso do oxigênio gasoso que foi combinado com o fósforo. Este experimento me deu quase os mesmos resultados do anterior: também resultou que o fósforo, ao ser queimado, absorveu um pouco mais que, uma vez e meia do seu peso, em oxigênio. Além disso, a certeza de que o peso da

nova substância produzida era igual à soma do peso do fósforo queimado e do oxigênio absorvido, o que, era fácil de prever *a priori* (LAVOISIER, 1798, p. 63, tradução nossa)³⁰.

Independente destas constatações, e outras várias, como na queima do álcool, nos processos de fermentação e calcinação de metais, Martins e Martins (1993) afirmaram que, as conclusões de Lavoisier sempre foram apriorísticas frente à conservação das massas, isto é, tomava como premissa a ideia de que as massas eram conservadas em uma reação química. Apesar disso, Lavoisier tomou esta noção como algo relevante a ponto de utilizá-la em seus trabalhos, além de ser empregada como um fundamento contra a teoria do flogístico (MARTINS; MARTINS, 1993).

De certa forma, este princípio foi defendido por outros estudiosos da época como Dumas³¹ em 1836 e Wurtz³² em 1869, o que contribuiu para que esta concepção fosse difundida (MARTINS; MARTINS, 1993). Assim, a conservação da massa estava, ao menos, implícita, em várias investigações. Por este ângulo, não se pode afirmar que Richter foi influenciado pela ideia da conservação das massas em 1792, no entanto, também manipulava e traçava relações, matematicamente, entre os valores de massa para os reagentes e produtos em uma reação. A conservação das massas, nesse sentido, tratou de complementar a ideia das proporções constantes entre reagentes e produtos, ou seja, da estequiometria, assumidos por Richter.

Considerando o contexto da estequiometria e da conservação das massas, alguns estudiosos da época foram influenciados por este momento e, por conseguinte, colaboraram para que outras proposições fossem assumidas, em termos quantitativos e explicativos, tanto na constituição da matéria, quanto em sua constância. Nesse sentido, Szabadváry e Oesper (1962, p. 270, tradução nossa)³³ afirmam,

³⁰Citação original: Il est clair qu'à l'aide de ces différentes précautions, il m'a été facile de constater, 1° le poids du phosphore brûlé, 2°. celui des flocons blancs obtenu par la combustion; 3°. le poids du gaz oxygène qui s'étoit combiné avec le phosphore. Cette expérience m'a donné, à peu-près les mêmes résultats que la précédente: il en a également résulté que le phosphore, en brûlant, absorboit un peu plus d'une fois & demie son poids d'oxygène, & j'ai acquis de plus la certitude que le poids de la nouvelle substance produite étoit égal à la somme du poids du phosphore brûlé & de l'oxygène qu'il avoit absorbé: ce qu'il étoit a sur plus facile de prévoir priori.

³¹Discutiu questões sobre a filosofia da química em seu livro "Leçons sur la philosophie chimique professées au Collège de France (1836).

³²Abordou a influência de Lavoisier após a publicação do Tratado Elementar de Química em seu livro "Histoire des doctrines chimiques depuis Lavoisier jusqu'à nos jours (1869).

³³Citação original: [...]Richter's ideas undoubtedly influenced Dalton and Berzelius, to whom we owe the atomic theory and the determination of atomic weights through which the stoichiometric system of calculation was brought to its rightful status in chemistry.

[...] as ideias de Richter, sem dúvida, influenciaram Dalton e Berzelius, a quem devemos a teoria atômica e a determinação de pesos atômicos, através dos quais, o sistema estequiométrico de cálculo foi levado ao seu legítimo status na química.

Nesta perspectiva, os trabalhos de John Dalton (1766-1844) sobre os estudos dos gases e a proposição da teoria atômica, congregaram para que a estequiometria fosse pensada não somente em termos de relações em massas, mas também em termos de composição nas reações químicas. Michałowska-Kaczmarczyk, Asuero e Michałowski (2015) afirmaram, também, que o conceito de estequiometria foi fundamental para o desenvolvimento da teoria atômica de Dalton.

Dalton, por volta de 1803, considerando seus estudos sobre as pressões parciais e diferentes dissoluções dos gases em líquidos, possivelmente buscou, por meio da formulação de uma teoria atômica, justificar as situações com os gases (SZABADVÁRY, 1966; MAAR, 2011). Filgueiras (2004) indicou que, por consequência deste período, Dalton testou e incorporou, em seus escritos, várias ideias que eram difundidas, sendo elas expressadas no Quadro 1.

Quadro 1: Princípios e influências sobre o atomismo e as leis ponderais de Dalton

Princípios admitidos por Dalton	Influências nos trabalhos de Dalton
A matéria é constituída por partículas últimas ou átomos	Modelo mecanicista de Newton e tomado como premissa
Os átomos são indivisíveis e não podem ser criados nem destruídos	Princípio de Conservação da Matéria – Lavoisier
Todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos e apresentam o mesmo peso	Ideia decorrente de seus estudos sobre a composição do ar atmosférico e das pressões parciais sobre gases
Átomos de elementos diferentes têm pesos diferente	Ideia decorrente de seus estudos sobre a composição do ar atmosférico e das pressões parciais sobre gases
Os compostos são formados por um número fixo de átomos de seus elementos constituintes	Lei das Proporções Fixas - Proust
Se existir mais de um composto formado por dois elementos diferentes, os números dos átomos de cada elemento nos compostos guardam entre si uma razão de números inteiros	Lei das Proporções Múltiplas - Dalton
O peso do átomo de um elemento é constante em	Lei das Proporções Recíprocas - Richter

seus compostos - se a reagir com b para formar ab e c reagir com d para formar cd , então se ab reagir com cd os produtos serão ad e cb	
---	--

Fonte: Adaptado de Filgueiras (2004).

Por este ângulo, Szabadváry (1966) admitiu que a constituição da matéria pelos átomos; e elementos de um mesmo átomo possuem a mesma massa, não são ideias originárias de Dalton. Ainda, para Szabadváry (1966), a essência da teoria de Dalton estaria na ideia de que os compostos são formados pela união de átomos inteiros e que átomos diferentes possuem pesos diferentes, portanto, podem ser expressos por números, e que, por comparação, outros pesos poderiam ser estabelecidos, e em consequência, determinaria a composição de compostos químicos.

Tomando então essas premissas, e por meio de determinações experimentais, Dalton adotou o hidrogênio como padrão para construção de uma tabela de pesos atômicos, publicada em 1808 (Figura 5).

Figura 5: Tabela de pesos atômicos de Dalton

EXPLANATION OF THE PLATES.		219
PLATE IV. This plate contains the arbitrary marks or signs chosen to represent the several chemical elements or ultimate particles.		
Fig.		Fig.
1 Hydrog. its rel. weight	1	11 Strontites - - - - 46
2 Azote, - - - - -	5	12 Barytes - - - - 68
3 Carbone or charcoal, -	5	13 Iron - - - - 38
4 Oxygen, - - - - -	7	14 Zinc - - - - 56
5 Phosphorus, - - - - -	9	15 Copper - - - - 56
6 Sulphur, - - - - -	13	16 Lead - - - - 95
7 Magnesia, - - - - -	20	17 Silver - - - - 100
8 Lime, - - - - -	23	18 Platina - - - - 100
9 Soda, - - - - -	28	19 Gold - - - - 140
10 Potash, - - - - -	42	20 Mercury - - - - 167

Fonte: Dalton (1808, p. 219).

Isto posto, Szabadváry (1966) discutiu que, somente com a determinação de valores de pesos atômicos é que a estequiometria passou a ser reputada na análise quantitativa, pois até então, os trabalhos de Richter não haviam sido considerados conclusivos ao ponto de serem usados.

Embora a relevância destes trabalhos, como a conservação da matéria, a teoria atômica, a lei das proporções constantes, enunciada por Richter, estivessem ganhando status na comunidade científica, algumas conjunturas ainda careciam de estudos e justificativas. Por exemplo, ora a molécula de água continha um átomo de hidrogênio e um átomo de oxigênio,

como proposto por Dalton, no entanto, Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) verificou experimentalmente que as proporções, em volume, eram de 2 partes de hidrogênio para 1 parte de oxigênio (MAAR, 2011) e, nesse sentido, algumas outras propostas foram relevantes para que as reações químicas fossem esclarecidas em termos qualitativos e quantitativos.

Lorenzo Romano Amadeo Carlo Avogadro (1776-1856) preocupou-se então em integrar as ideias de Dalton e de Gay-Lussac e, na tentativa de justificar as duas visões para a formação da água, combinou a proporção em volumes de gases de Gay-Lussac com a teoria das proporções múltiplas de Dalton. Para isso, admitiu, utilizando-se de dados empíricos, a possibilidade de as moléculas de gases elementares possuírem mais de um átomo, fato desconsiderado por Dalton (LIPELES, 1983; WILLIAMS, 2016).

Além da possibilidade de as moléculas (termo frequentemente usado por ele), de um mesmo elemento, possuírem mais de um átomo, segundo Williams (2016), foi por meio das constatações de Avogadro que o mundo molecular pode ser enumerado, devido à publicação do artigo “Um Ensaio Sobre um Método de Determinar as Massas Relativas das Moléculas Elementares dos Corpos e as Proporções nas Quais Elas Entram nestes Compostos” (*Essay on a Manner of Determining the Relative Masses of the Elementary Molecules of Bodies, and the Proportions in Which They Enter into These Compounds*), em 1811. Neste trabalho, Avogadro chega à conclusão de que, se em um mesmo volume, sob às mesmas condições de temperatura e pressão temos massas proporcionais de moléculas diferentes, isso se deve ao fato de que, provavelmente exista o mesmo número de moléculas. Nessa perspectiva, exemplificando para a água (AVOGADRO, 1811, p. 58, tradução nossa)³⁴:

[...] é evidente que temos os meios de determinar muito facilmente as massas relativas das moléculas de substâncias obtidas no estado gasoso e o número relativo dessas moléculas em compostos, pois, as proporções das massas das moléculas são então as mesmas das densidades dos diferentes gases à temperatura e pressão iguais, e o número relativo de moléculas em um composto é dado imediatamente pela proporção dos volumes dos gases que o formam. Por exemplo, uma vez que os números 1.10359 e 0.07321

³⁴Citação original: it is apparent that we have the means of determining very easily the relative masses of the molecules of substances obtainable in the gaseous state, and the relative number of these molecules in compounds; for the ratios of the masses of the molecules are then the same as those of the densities of the different gases at equal temperature and pressure, and the relative number of molecules in a compound is given at once by the ratio of the volumes of the gases that form it. For example, since the numbers 1.10359 and 0.07321 express the densities of the two gases oxygen and hydrogen compared to that of atmospheric air as unity, and the ratio of the two numbers consequently represents the ratio between the masses of equal volumes of these two gases, it will also represent on our hypothesis the ratio of the masses of their molecules. Thus the mass of the molecule of oxygen will be about 15 times that of the molecule of hydrogen, or more exactly, as 15.074 to 1.

expressam as densidades dos dois gases oxigênio e hidrogênio em comparação com a do ar atmosférico, e a proporção dos dois números consequentemente representa a relação entre as massas de volumes iguais desses dois gases, também representará em nossa hipótese a proporção das massas de suas moléculas. Assim, a massa da molécula de oxigênio será cerca de 15 vezes a da molécula de hidrogênio, ou mais exatamente 15.074 a 1.

Assim, Avogadro (1811) afirmou que, se em um mesmo volume de hidrogênio e oxigênio, temos relações proporcionais em massa, e como estes sempre reagem sobre proporções definidas, esta relação só é possível se tivermos o mesmo número de moléculas (ou proporcionais) para os dois componentes da reação, nas mesmas condições. Neste caso:

uma meia molécula de oxigênio + uma molécula de hidrogênio forma uma molécula integral de água

Mesmo com estas constatações, pouco foi relevado das ideias de Avogadro naquele contexto, pois, segundo Williams (2016), ele pouco se esforçou nas explicações de seus trabalhos para outros cientistas, sendo reconhecida sua hipótese somente no ano de 1860, no Congresso Internacional de Químicos em Karlsruhe.

Independentemente dessa delonga, foi por meio dos trabalhos de Avogadro, e de seu contexto, que as concepções de proporções entre reações, a necessidade de delimitação de valores de massa para os elementos químicos, e as relações entre as massas/volumes e as partículas se sobressaíram.

Apoiado nestas concepções e em outras do mesmo contexto, no final do século XVIII, Jons Jacob Berzelius (1779 - 1848) teve contato com a obra que contemplava as ideias sobre o novo sistema de Lavoisier, “Elementos da Química Antiflogística” (*Anfangsgrunde der antiphlogistischen Chemie*). Neste título, o sistema de combustão era justificado mediante as reações com o oxigênio. Assim, Berzelius passou a se dedicar à química e, em 1814, apresentou sua proposta de símbolos para representar o que ele chamava de “corpos simples” (hoje elementos químicos).

Os símbolos químicos deveriam ser letras, para maior facilidade de escrever, e não desfigurar um livro impresso. Embora esta última circunstância possa não parecer de grande importância, deve ser evitada sempre que possível.

Tomarei, portanto, o sinal químico, a letra inicial do nome latino de cada substância elementar (BERZELIUS, 1814, p. 51, tradução nossa)³⁵.

Para elaboração da proposta, o químico sueco levou em conta os conceitos e teorias em discussão naquele momento, como o modelo atômico recém proposto por Dalton; o trabalho de Richter sobre as proporções de ácidos e bases, na formação de sais neutros; a Lei das Proporções Definidas de Proust; a Lei das Proporções Múltiplas; a Lei das Proporções Recíprocas; a Lei das Proporções Volumétricas de Gay-Lussac; a Teoria Eletroquímica Dualística e o Isomorfismo, propostos pelo próprio Berzelius; a Hipótese de Avogadro (parcialmente aceita); a lei de Dulong e Petit e a Analogia Química (GONZALEZ; SILVA, 2013).

Isso significa que, para propor a representação por símbolos indicados pela primeira letra do nome latino dos corpos simples, Berzelius fez uso das teorias citadas. Isso reflete a complexidade conceitual do sistema desenvolvido pelo químico, pois, mais do que imaginar uma representação simplificada para os elementos químicos, Berzelius foi capaz de estruturar nessa representação as teorias consideradas satisfatórias à época. Como exemplo disso, tem-se o uso das proporções múltiplas, pois, em seu sistema de símbolos, Berzelius contemplou a formação de substâncias (do qual denominava corpos compostos) com proporções definidas entre os seus elementos constituintes, como é evidenciado no texto do autor:

“O símbolo químico expressa sempre um volume da substância. Quando é necessário indicar vários volumes, é feito adicionando o número de volumes: por exemplo, o óxido cuproso é composto por um volume de oxigênio e um volume de metal; portanto seu símbolo é Cu + O. O óxido cúprico é composto de 1 volume de metal e 2 volumes de oxigênio; então seu símbolo é Cu + 2O. Da mesma maneira, o símbolo do ácido sulfúrico é S + 3O; ácido carbônico C + 2O; para água 2H + O, e etc. Quando expressamos o volume de um composto de primeira ordem, jogamos fora O +, e colocamos o número de volumes acima da letra: por exemplo, CuO + SO³ = sulfato de cobre, CuO² + 2SO³ = persulfato de cobre. [...] Quanto aos volumes (de compostos) de segunda ordem, [...] faremos isso usando o parêntese, como é feito em fórmulas algébricas: por exemplo, o alumem é composto de 3 volumes de sulfato de alumina e 1 volume de sulfato de potássio. O seu

³⁵Citação original: The chemical signs ought to be letters, for the greater facility of writing, and not to disfigure a printed book. Though this last circumstance may not appear of any great importance, it ought to be avoided whenever it can be done. I shall take, therefore, for the chemical sign, the initial letter of the Latin name of each elementary substance.

símbolo é $3 (\text{AlO}^2 + 2\text{SO}^3) + (\text{Po}^2 + 2\text{SO}^3)$ ” (BERZELIUS, 1814, p. 52, tradução nossa)³⁶.

Ao apresentar seu sistema de representação para os elementos químicos, dedicou-se a considerar e integrar todas as teorias para propor a existência da proporcionalidade entre os elementos em um composto.

Com a construção do sistema de notações químicas, publicado em 1814, a química, por meio da notação, pôde ser sistematizada e ensinada de maneira universal, representando, assim, as teorias e explicações fenomenológicas. A própria explanação de Berzelius, para formação de óxidos (BERZELIUS, 1819), retrata o novo sistema de notações que traria facilidades para a compreensão da química, mesmo esse sistema representacional carregando todas as relações existentes nas combinações, proporções, ou seja, o que se pode compreender e refletir por meio de um símbolo. Isso, de certa forma, contribuiu para que outras teorias surgissem e novas perspectivas sobre a química fossem pensadas.

Após o estabelecimento dos símbolos, propostos por Berzelius, ainda existiam grandes divergências para as massas atômicas adotadas por diferentes cientistas, já que cada grupo se utilizava de padrões de massas diferentes, acarretando em discordâncias sobre as fórmulas de diversos compostos. Além disso, diversas questões, ainda sem consenso na química, estavam dificultando o desenvolvimento dessa ciência. Para que desacordos até ali encontrados fossem discutidos, foi organizado o primeiro congresso internacional de química, que ocorreu no ano de 1860 na cidade de Karlsruhe na Alemanha. Nesse evento, diversas questões foram discutidas, inclusive a questão da padronização dos pesos atômicos.

Nesse sentido, além de considerar o desenvolvimento do pensamento sobre a conservação da matéria, as relações proporcionais entre massas, números de partículas nas reações químicas, a atribuição de símbolos capazes de mediar as informações contidas num

³⁶Citação original: The chemical sign expresses always one volume of the substance. When it is necessary to indicate several volumes, it is done by adding the number of volumes: for example, the oxidum cuprosum (protoxide of copper) is composed of a volume of oxygen and a volume of metal ; therefore its sign is $\text{Cu} + \text{O}$. The oxidum cupricum (peroxide of cooper) is composed of 1 volume of metal and 2 volumes of oxygen; therefore its sign is $\text{Cu} + 2 \text{O}$. In like manner, the sign for sulphuric acid is $\text{S} + 3\text{O}$; for carbonic acid, $\text{C} + 2 \text{O}$; for water, $2 \text{H} + \text{O}$, etc. When we express a compound volume of the first order, we throw away the +, and place the number of volumes above the letter : for example, $\text{Cu O} + \text{S O}^3 =$ sulphate of copper, $\text{Cu O}^2 + 2\text{SO}^3 =$ persulphate of copper. [...]As to the volumes of the second order, [...], we may do it by using the parenthesis, as is done in algebraic formulas: for example, alum is composed of 3 volumes of sulphate of alumina and 1 volume of sulphate of potash. Its symbol is $3 (\text{Al O}^2 + 2 \text{SO}^3) + (\text{Po}^2 + 2 \text{SO}^3)$.

sistema químico, e a delimitação de padrões de massas para os elementos, outros dois conceitos foram relevantes para a constituição da estequiometria: a determinação do número de Avogadro e a definição do mol.

A partir da consideração de Avogadro sobre o número de partículas serem iguais, em um dado volume, para gases diferentes, alguns cientistas da época tentaram determinar, por meio de experimentos, o número de partículas contidas nestas condições. No entanto, o número mais próximo ao conhecido atualmente foi determinado somente em 1913 por Jean Baptiste Perrin (1870-1942), publicado no livro “Os átomos” (*Les Atomes*) em que conseguiu estabelecer, por meio da observação ao microscópio a sedimentação de partículas de goma-guta (um tipo de seiva) e também utilizando diferentes equações, para diferentes fenômenos, a constante de Avogadro, nome dado por Perrin em homenagem a Avogadro (CHAGAS, 2003), como apresentado na Figura 6.

Figura 6: Determinações de Perrin para a constante de Avogadro

PHÉNOMÈNES OBSERVÉS	$\frac{N}{10^{22}}$
Viscosité des gaz (équation de Van der Waals).	62
Mouvement brownien. {	68,3
Répartition de grains	68,8
Déplacements	65
Rotations	69
Diffusion.	75
Répartition irrégulière {	60 (?)
des molécules	64
Opalescence critique	68
Bleu du ciel	62,5
Spectre du corps noir.	64
Charge de sphérules (dans un gaz)	71
Radioactivité {	60
Charges projetées	
Hélium engendré.	
Radium disparu	
Energie rayonnée.	

Fonte: Perrin (1913, p. 289).

Assim, mediante a determinação da constante de Avogadro, realizada por Perrin, foi possível estabelecer, para uma reação química, relações em massa, volume, entre outros, com um número finito de partículas, presentes nesta massa, ou volume, equivalente. Logo, as reações químicas poderiam ser entendidas em termos de unidades atômicas e/ou moleculares e em termos grandezas mensuráveis, o que contribuiu não somente com o desenvolvimento e compreensão dos termos quantitativos das reações, mas também no firmamento da ideia de átomo, até então relutada por alguns estudiosos da época, como Ostwald (FURIÓ; AZCONA; GUIASOLA, 1999; OKI, 2009).

Wilhelm Ostwald (1853-1932) propôs, em 1900, o conceito de mol, afirmando seu ceticismo quanto ao atomismo (JENSEN, 2004). Esta perspectiva podia ser justificada, segundo Furió, Azcona e Guisasola (1999), pelo contexto de produção da química do final do século XVIII que estava voltada, essencialmente, para as determinações em massa das substâncias e suas respectivas composições. Segundo os autores,

[...] qualquer problema poderia ser resolvido relacionado à estequiometria sem necessidade de recorrer a interpretações do tipo atomístico. Por outro lado, o outro grande objetivo dos químicos da época foi alcançado: igualar a química, em termos de "rigor matemático", com a física (FURIÓ; AZCONA; GUIASOLA, 1999, p. 361, tradução nossa)³⁷.

Nessa significação, Ostwald acreditava que as bases da estequiometria estavam mais seguras se continuassem apoiadas em leis já fundamentadas, como a de proporções múltiplas e proporções constantes, do que em meras suposições, como a do atomismo (FURIÓ; AZCONA; GUIASOLA, 1999).

Em meio a este cenário, Ostwald utilizou o termo mol, palavra derivada do latim significando “massa grande” (JENSEN, 2004), referindo-se a certa quantidade em massa de uma substância, atribuindo essencialmente significação palpável para este fundamento, na tentativa de estabelecer relações macroscópicas com as leis da estequiometria (JENSEN, 2004). Assim definiu o mol como “o peso normal ou molecular de uma substância expressa em gramas, deve ser dito mol a partir de agora” (OSTWALD, 1900, p. 163, tradução nossa)³⁸.

Assim, se por um lado tinham-se as questões sobre a compreensão das partículas em um fenômeno químico, defendida pelos atomistas, por outro lado, outra corrente de pensamento defendia as proporções definidas em massa. Dessa forma, com a ideia do mol, foi possível, mesmo que indiretamente, estabelecer relações entre partículas, impossíveis de serem contabilizadas, com as massas equivalentes, já que, tanto atomistas quanto seus opositores, guardavam uma relação comum de pensamento, a das proporções em massas definidas das substâncias. No entanto, como relatam Furió, Azcona e Guisasola (1999, p. 363, tradução nossa)³⁹,

³⁷Citação original: se podía resolver cualquier problema relacionado con la estequiometría sin necesidad de recurrir a interpretaciones de tipo atomista. Por otra parte, se conseguía el otro gran objetivo de los químicos de la época: equiparar la química, en cuanto a «rigor matemático», con la física.

³⁸Citação original: in Grammen ausgedruckte Normal oder Molekulargewicht eines Stoffes sol fortab ein Mol beissen.

³⁹Citação original: El problema de las cantidades en los cambios químicos no se solucionaría, de forma definitiva, hasta la introducción de la magnitud cantidad de sustancia de la cual la unidad sería el mol.

O problema das quantidades nas mudanças químicas não seria resolvido, de forma definitiva, até a introdução da magnitude da quantidade de substância da qual a unidade seria o mol. Isso tem a ver com a consolidação da teoria atômica molecular, já que, desse ponto de vista, a atenção está mais focada na relação entre as quantidades de partículas que intervêm na reação do que nos pesos combinados. No entanto, a extrema pequenez das partículas torna difícil contá-las diretamente no nível submicroscópico.

O reconhecimento destas correspondências só se tornou possível com a determinação da constante de Avogadro, publicada por Perrin em 1913, que era pautada não somente em concepções, mas também se utilizava de equações matemáticas e verificações empíricas confiáveis, devido à variedade de experimentos sobre um mesmo fenômeno e técnica apurada. Deste modo, a demarcação da constante não poderia ser assumida sem que a teoria atômica fosse levada em consideração. Nesse sentido, Oki (2009) afirmou que, as constatações de Perrin, colaboraram para que os opositores ao atomismo, como Ostwald, aceitassem a teoria atômica.

Em meio a este contexto histórico, do final do século XVIII, com as investigações e publicações de Lavoisier sobre a conservação das massas até o início do século XX, com a determinação da constante de Avogadro, realizada por Perrin, os estudos quantitativos sobre as reações químicas favoreceram a compreensão de fenômenos empíricos e conceituais à química, e atualmente a estequiometria permeia esta ciência em suas diversas instâncias de saberes, como a físico-química, a química analítica, entre outros.

Isso posto, com o transcorrer da história, foi possível perceber que os conceitos nunca estiveram em detrimento aos dados empíricos ou, em relação a própria matematização da química. Portanto, só foi possível o desenvolvimento de um conceito quando estas vertentes foram integradas, então, a partir do momento que estas concepções foram sistematizadas, consubstanciou-se o que seria uma determinada vertente da química é que a estequiometria.

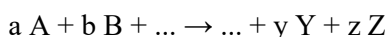
Também, por meio das conjunturas, pode-se compreender que, para a construção da estequiometria, houve a necessidade de estudar e desenvolver outros conceitos concomitantes, de acordo com as problemáticas encontradas. Então, o campo conceitual da estequiometria foi se formando a partir das situações que apareciam e também em decorrência das hipóteses do que se podia ter da ciência daquela época. Logo, para que este campo conceitual fosse

Eso tiene que ver con la consolidación de la teoría atómico molecular, ya que desde este punto de vista se centra más la atención en la relación entre cantidades de partículas que intervienen en la reacción que en los pesos de combinación. Ahora bien, la extremada pequeñez de las partículas dificulta la posibilidad de contarlas directamente en el nivel submicroscópico.

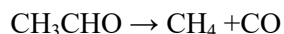
formulado, foi necessário o entendimento e desenvolvimento de uma série de conceitos interligados a esta ideia, como a conservação, o atomismo, os símbolos químicos, os padrões de massa, a identificação da reação e proporção, entre outros.

Atualmente a estequiometria guarda todas estas relações, concebidas ao longo da história, e é definida pela International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) como:

O termo refere-se à relação entre as quantidades de substâncias que reagem em uma reação química específica e as quantidades de produtos formados. A equação estequiométrica geral:



fornece a informação de que a mols de A reage com b mols de B para produzir y mols de Y e z mols de Z . A estequiometria de uma reação pode ser desconhecida, ou pode ser muito complexa. Por exemplo, a decomposição térmica do acetaldeído produz principalmente metano e monóxido de carbono, mas também uma variedade de produtos menores, como etano, acetona e diacetil. A equação estequiométrica:



é, portanto, apenas aproximada. Mesmo quando a estequiometria geral de uma reação é bem definida, pode depender do tempo, que varia durante o curso de uma reação. Assim, se uma reação ocorre pelo mecanismo $A \rightarrow X \rightarrow Y$, e X é formado em quantidades substanciais durante o curso do processo, a relação entre as quantidades de A , X e Y irá variar com o tempo, e nenhuma equação estequiométrica pode representar a reação em todos os momentos (IUPAC, 1997, p. 187, tradução nossa)⁴⁰.

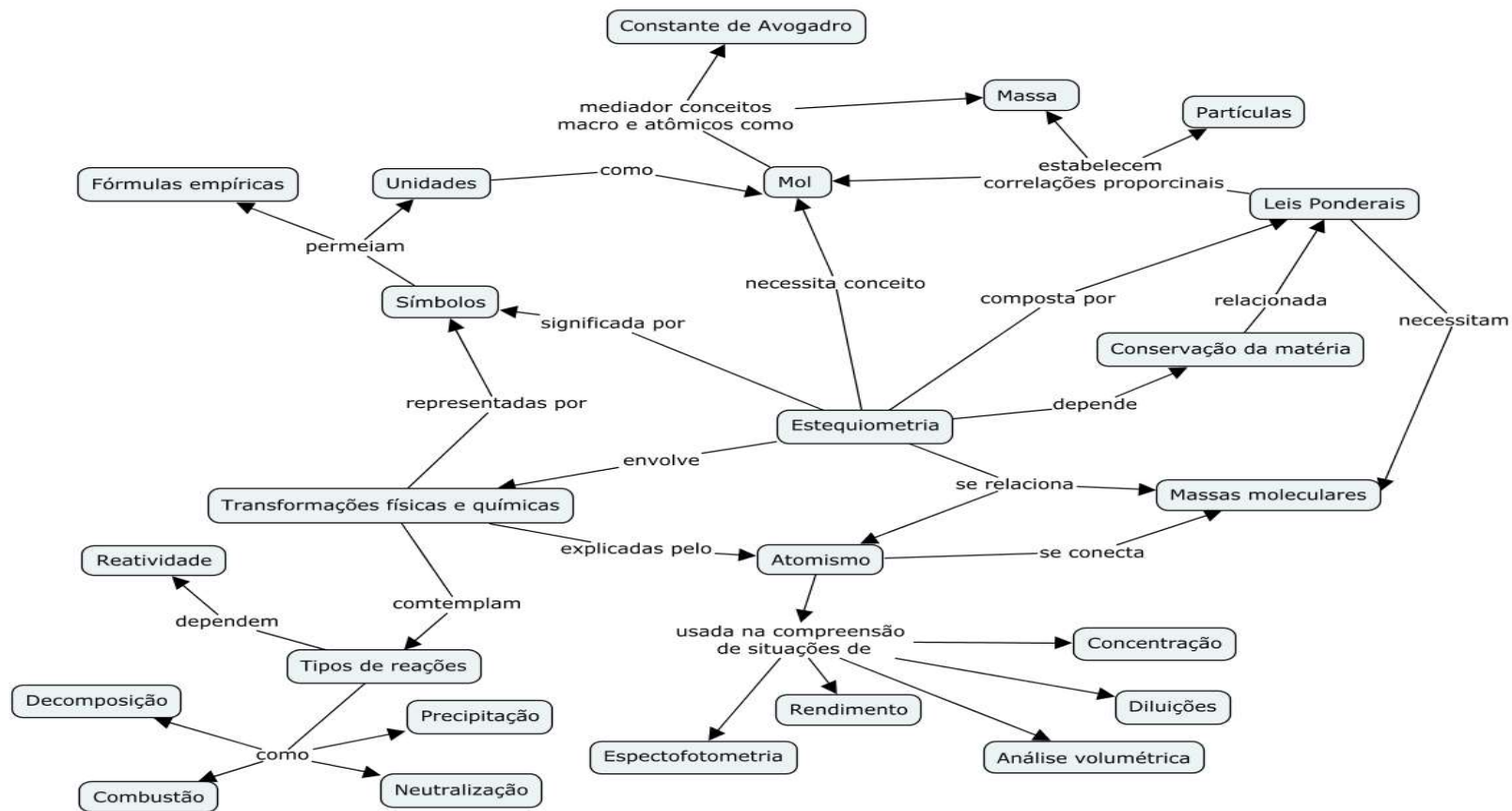
Para alguns autores, utilizados como referências no ensino superior, como, Russell (1994), Mahan e Myers (2011), Atkins e Jones (2012), Kotz, et al. (2015) e Brown, et al. (2016), a estequiometria pode ser compreendida como um âmbito da química que estuda as quantidades envolvidas em reações químicas e trata das relações entre quantidade de matéria, massas, fórmulas, conservação das massas, entre outros. Desse modo, o campo conceitual da

⁴⁰Citação original: The term refers to the relationship between the amounts of substances that react together in a particular chemical reaction, and the amounts of products that are formed. The general stoichiometric equation: $a A + b B + \dots \rightarrow \dots + y Y + z Z$ provides the information that a moles of A reacts with b moles of B to produce y moles of Y and z moles of Z . The stoichiometry of a reaction may be unknown, or may be very complex. For example, the thermal decomposition of acetaldehyde yields mainly methane and carbon monoxide, but also a variety of minor products such as ethane, acetone and diacetyl. The stoichiometric equation: $\text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}$ is therefore only an approximate one. Even when the overall stoichiometry of a reaction is well defined, it may be time-dependent in that it varies during the course of a reaction. Thus if a reaction occurs by the mechanism $A \rightarrow X \rightarrow Y$, and X is formed in substantial amounts during the course of the process, the relationship between the amounts of A , X and Y will vary with time, and no one stoichiometric equation can represent the reaction at all times.

estequiometria pode ser delineado por todos os conceitos e situações que o compuseram historicamente e também por meio dos fundamentos e situações atuais, como demonstrado na Figura 7⁴¹.

⁴¹Para a constituição desta figura buscamos contemplar os princípios que embasam o cálculo estequiométrico, fundamentados no desenvolvimento histórico, definição da IUPAC e referenciais bibliográficos indicados em ementas de cursos de graduação de química de universidades brasileiras como, UFSJ, UFMT, UEM, UFPB, UFSCAR, UFC, UERJ, USP, UFU, UFG, UFSC, UFABC, UFBA, UFSS, entre outros.

Figura 7: A estequiometria representada como um campo conceitual



Fonte: Autoria Própria.

CAPÍTULO 3: CONTEXTUALIZANDO A PESQUISA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa. Dessa forma, optamos por caracterizar a investigação realizada como qualitativa. Fundamentamo-nos nas dimensões da pesquisa qualitativa, na sequência, descrevemos os processos de validação, o contexto no qual a investigação foi conduzida, bem como a caracterização dos sujeitos participantes do processo. Para que o transcurso seja compreendido em sua globalidade, também apresentamos as situações e atividades, com seus devidos objetivos de investigação. Ao final do capítulo, manifestamos o método e processo para compreensão dos resultados.

3.1 A PESQUISA QUALITATIVA

A pesquisa qualitativa pode ser considerada, fundamentalmente, como orientada por uma postura interpretativa. Seus principais objetivos se pautam na compreensão dos processos das transformações sociais, pessoais, cognitivas, entre outros, e não somente nos resultados da investigação. Dessa forma, “ela trabalha com o universo dos significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores e das atitudes” (MINAYO, 2009, p.21).

Segundo Flick (2013), a pesquisa qualitativa pode se referir a questões que compreendem três possíveis abordagens:

- compreensão de questões submersas, considerando a perspectiva do indivíduo, assim, o investigador interpreta e infere, por meio de perguntas e respostas diretas, os possíveis significados que se encontram imersos;
- entendimento de significados expressos em situações específicas, dessa forma, o pesquisador se preocupa em analisar o comportamento, entre outros aspectos, do sujeito frente a episódios que tenham um foco já delimitado, assim, os resultados não são diretos, mas são consequência de uma ação;
- compreensão das práticas relativas a um contexto específico, neste caso de uma comunidade, dessa forma, o pesquisador não está com vistas a uma situação específica, ou resposta direta, e sim em compreender de maneira mais global as relações, interações, costumes, ou seja, tem olhares mais amplificados e objetivos menos específicos, ficando a cargo das circunstâncias que aparecerão.

A pesquisa qualitativa tem se mostrado relevante para compreensão “de casos concretos em suas peculiaridades locais e temporais, partindo das expressões e atividades das pessoas em seus contextos locais” (FLICK, 2009, p.37). Assim, tem como principal objetivo aprofundar-se nos significados, que são vistos como resultantes das relações entre sujeitos, instituições, sociedade, e que, portanto, são subjetivos (MINAYO, 2009), conferindo assim a ela, um *status* diferenciado da pesquisa que associa seus resultados a uma conclusão rígida.

Nesse sentido, a pesquisa qualitativa utiliza-se da teoria como um ponto final de interpretação e não como condição a ser comprovada. Emprega a coleta de dados de maneira aberta, de forma a conseguir maior significação dos fatos e, também, maiores efeitos de validação. Analisa seus dados de maneira mais interpretativa que somente estatística, operando com generalizações em termos de teorias e não em termos de situações e pessoas (FLICK, 2009; 2013).

Logo, Flick (2009; 2013) considera, para a constituição da pesquisa qualitativa, alguns passos essenciais em seu processo. Inicialmente, a pesquisa dá-se com a seleção de um problema, que, normalmente, possui características práticas, derivadas de novas ou antigas situações, bem como da literatura e de pesquisas que indicam ramificações, nas quais se percebem divergências ou tendências. A próxima fase consiste na revisão sistemática da literatura, que requer análise das teorias que fundamentam o possível estudo, bem como as ramificações empíricas dessa teoria, assim, será possível a formulação da questão de pesquisa, caracterizado por Flick (2009; 2013) como o próximo passo.

Em vista disso, a formulação da questão possibilitará o desenvolvimento de um projeto, que deve prever a seleção de métodos adequados para a realização da pesquisa. Com isso, Flick (2009; 2013) considera necessário, como prosseguimento, verificar a possibilidade de acesso ao local da pesquisa e, assim, adequação e definição da amostra, da coleta de dados, e das suas formas de documentação. Estes últimos processos (amostragem, coleta de dados, documentação dos dados) são considerados cíclicos na pesquisa qualitativa, pois, dependem das circunstâncias que não são previsíveis.

Na sequência, após coleta e documentação, Flick (2009; 2013) indica, como próxima etapa, a discussão dos achados e interpretações. Para isso, categorias de análise são criadas, de forma que se tenha a maior representatividade e frequência possível dos dados. Com a categorização é possível realizar a interpretação dos resultados, que devem estar intimamente relacionados à fundamentação teórica utilizada. Ao final da apreciação dos dados, o processo de avaliação e generalização é considerado. Nesse sentido, é necessário ponderar sobre os

limites da pesquisa de maneira crítica e reflexiva, o que dará suporte para possíveis generalizações que, no caso da pesquisa qualitativa, consideram mais o universo teórico que estatístico.

Por meio das reflexões, generalizações e limites da pesquisa é possível traçar novas questões de pesquisa, que podem contribuir com a continuidade do campo investigado, assim, novos estudos poderão ser estabelecidos (FLICK, 2009; 2013). Minayo (2009) designa este processo da pesquisa como um ciclo da pesquisa qualitativa, pois as investigações produzem novas perguntas que podem ser respondidas em outras instâncias, iniciando uma nova rodada e que complementa a anterior.

Em virtude das características da pesquisa qualitativa, esta vem se mostrando relevante para que diversos processos educacionais sejam compreendidos. Plaisance e Vergnaud (2003) indicam que, em decorrência de sua especificidade e de seus objetos, como os conhecimentos escolares, os processos de desigualdade, a educação familiar, os atores da educação, as políticas de educação, entre muitos outros, por um lado temos a preocupação com o ensino das disciplinas, quanto aos seus conceitos, e por outro lado a pesquisa em educação mostrou a relevância de se compreender as práticas da educação e de formação, nesse caso, consideradas em seus contextos.

Nesse sentido, os autores discorrem sobre a importância da pesquisa em educação como elemento de reflexão e de tomada de consciência.

O pesquisador não é o “decisor”. No entanto, ele tem a possibilidade de fornecer, sobre pontos precisos e em função das condições precisas da pesquisa efetuada, elementos infalíveis de reflexão sobre questões controversas ou que suscitem tomadas ideológicas de posição. O problema essencial é exatamente do papel da pesquisa na formação do pessoal da educação, para que possa olhar de maneira diferente as suas práticas, sua posição profissional e, é claro, as pessoas em formação, alunos, estudantes e estagiários. A pesquisa é, então, um instrumento fundamental de tomada de consciência que é, ao mesmo tempo, tomada de distância reflexiva (PLAISANCE; VERGNAUD, 2003, p. 138).

Por esse ângulo, Vergnaud (2008) discorre sobre a relevância em se compreender o percurso trilhado na aprendizagem, tanto por meio da compreensão de teorias de aprendizagem e suas aplicações, quanto por intermédio da própria reflexão sobre a prática pedagógica.

[...]se não levamos os resultados das pesquisas para a sala de aula, perdemos muito. Na maioria dos campos da Ciência, existe a percepção de que, se alguém cria uma teoria, isso é bom. Em Educação, essa idéia infelizmente

não é tão difundida. Muitos resistem às descobertas por acreditar que basta repetir o que é feito há séculos. [...] Se ele (professor) vê os alunos errar sem entender o percurso que estão trilhando, todo trabalho se perde, não funciona (VERGNAUD, 2008, s.n.).

Tomando assim, a perspectiva da pesquisa qualitativa e da importância em se compreender os processos de aprendizagem, esta pesquisa foi elaborada, utilizando os preceitos da Teoria dos Campos Conceituais, com o intuito de responder a seguinte problemática de investigação: **Que conceitualizações são mobilizadas por estudantes da Licenciatura em Química, em situações, em fundamentos pertinentes ao campo conceitual da estequiometria?**

3.2 O PROCESSO DE VALIDAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS PARA A INVESTIGAÇÃO

A concepção de validação para a pesquisa qualitativa pode assumir diversas interpretações como a de replicação, pensando em aspectos mais lineares para um estudo, ou ainda, pode recorrer à certificação da pesquisa, de forma a atestar se os métodos e resultados são coesos e consistentes ao percurso e objetos da investigação (OLLAIK; ZILLER, 2012).

Mesmo considerando que um universo de pesquisa qualitativa dificilmente possa ser replicado devido a sua complexidade em termos do número de variáveis, ainda assim, na tentativa de conferir maior confiança a esta investigação, para validação prévia dos instrumentos para constituição dos dados, deste estudo, recorreremos a algumas conjunturas tais como análise pelos pares das situações e questões propostas aos alunos, além da aplicação de um piloto.

Assim, os encontros com os pares ocorreram no âmbito do Grupo de Pesquisa em Educação Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM) que é constituído por professores de instituições de Ensino Superior, tais como, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e UEM, bem como de estudantes de doutorado e mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência e a Matemática (PCM - UEM) nos dias 16/08; 30/08 e 06/09 do ano de 2016, no período da manhã.

Desse modo, foram analisadas as questões e situações que seriam aplicadas no piloto, com o objetivo de oferecer à pesquisadora suporte no desenvolvimento dos enunciados

propostos, de modo que, se evitassem ambiguidades, além da promoção de reflexões sobre a adequação no tempo, estilo, grafia, compreensão, complexidade e possíveis interpretações secundárias por parte dos estudantes participantes.

Em decorrência das discussões foram feitas modificações visando o piloto que foi aplicado posteriormente nos dias 01/11 (período da tarde); 03/11 (períodos da manhã e tarde); 04/11 (períodos da manhã e tarde) e 07/11 (período da tarde) do ano de 2016, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, perfazendo um total de 24 horas distribuídas em 5 atividades, como indicado no Quadro 2:

Quadro 2: Atividades aplicadas no piloto

Data	Atividade
01/11	- Compreensão dos participantes sobre os conceitos que envolvem a estequiometria (questões iniciais); - Determinação da proporção em uma reação (atividade 1).
03/11	- Experimento sobre a conservação das massas (atividade 2); - Definições dos padrões de massas (atividade 3).
04/11	- Compreensões sobre a simbologia química (atividade 4); - Reflexões sobre a constante de Avogadro e a unidade mol (atividade 5).
07/11	- Reflexões sobre a constante de Avogadro e a unidade mol (atividade 5).

Fonte: A autoria Própria.

A escolha desta instituição de ensino superior ocorreu devido ao contato já existente com professores da Licenciatura em Química desta universidade que puderam formalizar os convites e viabilizar a aplicação das atividades junto aos estudantes que aceitaram integrar o estudo. Neste sentido, a escolha desta universidade se deu pelo favorecimento à pesquisa, em consequência, também da compatibilidade dos sujeitos quanto à aplicação final. Consequentemente, 9 estudantes, sendo, 1 do 1º período, 3 do 2º período, 1 do 3º período, 1 do 4º período, 1 do 5º período e 2 do 6º período, do curso de Química Licenciatura, colaboraram com a participação no piloto.

Em decorrência do piloto, apontamos como mudanças para a aplicação final:

- ✓ A inclusão de situação sobre a determinação da Constante de Avogadro;
- ✓ A inclusão de situação sobre a estequiometria em termos explicativos;

- ✓ E a inclusão de atividade final, com requisição de justificativas sobre as estratégias utilizadas pelos estudantes e que englobasse os conceitos da estequiometria.

Em virtude do piloto, as questões e situações foram readequadas para 8 atividades que, posteriormente, foram aplicadas em um total de 40 horas em janeiro de 2017 com os instrumentos já adequados.

Anteriormente a tramitação final das atividades previstas no estudo, o projeto (número CAAE 62250016.2.0000.0104), referente a esta pesquisa foi avaliado e aprovado pelo Comitê Permanente de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (COPEP) da Universidade Estadual de Maringá, que tem por objetivo conservar a integridade e interesses dos indivíduos que participam das pesquisas acadêmicas.

3.3 SUJEITOS E CONTEXTO DE APLICAÇÃO DA PESQUISA

Dessa forma, para aplicação definitiva deste estudo, inicialmente realizamos um convite para um curso de extensão, a todos os alunos do curso de Licenciatura em Química da UEM no ano de 2016, por meio de correio eletrônico e redes sociais. Foi declarado aos alunos que o curso de extensão também se tratava de uma pesquisa, mas que a participação no curso não estava condicionada, necessariamente, ao levantamento de dados para o estudo. Para isso foi fornecido um formulário que requeria disponibilidade e a série a qual o estudante estava matriculado. Com isso, 34 acadêmicos do curso de Licenciatura em Química, de todas as séries, se mostraram interessados em participar da atividade. A escolha desta universidade se deu pelo fato de a pesquisadora integrar, temporariamente, o corpo docente do Departamento de Química da referida instituição, facilitando o processo de implementação do curso de extensão, conseqüentemente da investigação.

O curso de extensão, intitulado “Cálculo Estequiométrico e o Ensino de Química” (processo DEX número 11826/2016) foi realizado no período de 12/01 a 20/01/2017, com um total inicial de 34 estudantes e final de 28, distribuídos em dois horários (manhã e tarde), conforme suas disponibilidades, nas dependências do departamento de Química (UEM). As 40 horas de atividades desenvolvidas no curso enfatizaram aspectos relacionados ao campo conceitual da estequiometria e foram registradas por meio de filmagens e mediante as

respostas as questões presentes nas situações fornecidas, o que permitiu o acompanhamento das atitudes e manifestações dos acadêmicos.

Para os estudantes que concordaram em participar do estudo foi entregue, no primeiro dia do curso, um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice A) que foi preenchido e posteriormente devolvido pelos licenciandos. Também no primeiro momento, para que fosse feita a caracterização dos sujeitos da pesquisa, recorremos aplicação de questões (Quadro 3) que nos forneceram tal dimensão.

Quadro 3: Questões referentes à caracterização dos sujeitos e as impressões sobre a estequiometria e sua importância no ensino de química

Nome completo: __ Idade: __ Sexo: __ Estado Civil: __ Telefone: __ Email: __
Ano de Início da graduação: __ Série: __
Estudou o Ensino Médio em instituição Pública ou Privada?
Fez outro curso no qual tenha estudado Química? Qual?
Qual o motivo da escolha pelo curso de Química?
E qual o motivo da escolha pela habilitação licenciatura?

Fonte: Autoria Própria.

Os acadêmicos que participaram da pesquisa foram a maioria do sexo feminino e estudaram, geralmente, em escolas públicas. O grupo também era constituído por 16 alunos que conseguiram continuar regularmente seus estudos, enquanto que 12 ficaram retidos durante algum momento da graduação. Quanto aos motivos que os levaram a escolher o curso de química, algumas respostas são comuns aos indivíduos como, afinidade e facilidade com a química e interesse em seus objetos de estudo. Alguns ainda citaram a influência ou inspiração de seus professores durante o ensino médio.

Com relação à escolha da licenciatura, alguns relataram identidade e afinidade quando se envolveram em atividades no ensino médio. Grande parte dos alunos também mencionou o período no qual o curso é ofertado, o que contribuiria com a realização de outras atividades, como trabalho, frequentar mais uma habilitação ou eliminar disciplinas em novas formações acadêmicas.

Para Vergnaud, Pastré e Mayen (2006) a relação entre os sujeitos e as situações sempre estão vinculadas à aprendizagem de cada um. Especialmente quando nos referimos aos adultos, as dimensões históricas e culturais dos indivíduos influenciam no amadurecimento, aprendizado e experiência que são retransmitidos por meio dos processos de

socialização. Isso acaba por justificar a necessidade em caracterizar os estudantes da pesquisa sobre as suas escolhas, mencionando as situações que foram, de fato, significativas para suas decisões, como optar pela licenciatura em decorrência dos “espelhos” encontrados em sua vida estudantil, escolher um curso de química devido a afinidade com a área, ou ainda ter seus estudos transcorridos dentro do tempo previsto.

Resultante da caracterização dos acadêmicos dos quais obtivemos as respostas, contidas no Quadro 4, que foram compiladas de acordo com as séries dos estudantes em concordância com os objetivos traçados neste estudo, optamos, assim, por agrupar as respostas, de acordo com suas principais características, respeitando os seus significados.

Quadro 4: Perfil dos sujeitos da pesquisa

Série	Faixa Etária	Sexo	Nº de sujeitos	Início Graduação	Instituição E.M.	Fez outro curso no qual tenha estudado Química? Qual?	Motivo da escolha pelo curso de Química	Motivo da escolha pela licenciatura
1ª	18-22	4F/2M	6	2013-2016	4 Públicas 2 Privadas	Não	Química interessante; Identificação com a matéria; Interesse na matéria; Eliminar matérias em outros cursos.	Passar conhecimento; Ato de nobreza; Ser professor (a); Contribuir na formação; Compartilhar conhecimento.
2ª	18-32	6F/3M	9	2013-2015	8 Públicas 1 Privada	1 Técnico Química	Afinidade com a matéria; Influência de professores; Facilidade na matéria; Despertou curiosidades; Compreender fenômenos e conceitos; Interesse em atividades laboratoriais; Influência de seriados de TV; Campo de trabalho.	Auxiliava colegas de classe; Horário noturno; Afinidade licenciatura; Qualificação para atuação no ensino; Promover aulas significativas; Influência de professores; Entender e saber explicar seus conceitos.
3ª	20-22	2F/2M	4	2012-2014	3 Públicas 1 Privada	Não	Facilidade na matéria; Influência de professores; Afinidade pelas Ciências Exatas; Instituição.	2ª opção; Aptidão para ensinar; Influência de professores; Curso noturno.
4ª	21-26	4F/1M	5	2012-2013	4 Públicas 1 Privada	1 Técnico Química	Baixa concorrência; Campo de trabalho; Interesse na matéria; Facilidade na matéria; Influência de professores.	Curso noturno; Falta de profissionais na área; Possibilidade de fazer bacharelado; Baixa concorrência.
5ª	24-27	3F/1M	4	2009-2012	3 Públicas 1 Privada	Não	Interesse na matéria; Interesse pelo conhecimento dessa área; Afinidade com a matéria.	Interesse profissional; Contato com experiências relacionadas ao ensino; Contribuir na aprendizagem.

Fonte: Autoria Própria.

Depois de aplicado o questionário referente à caracterização dos sujeitos, propusemos, em cada dia do curso “Cálculo Estequiométrico e o Ensino de Química”, várias situações que envolviam o campo conceitual da estequiometria que serão apresentadas esquematicamente a seguir.

3.4 CONTEXTUALIZANDO AS SITUAÇÕES E ATIVIDADES DA INVESTIGAÇÃO

O conceito de situação foi compreendido, nesta pesquisa, como um problema real, uma vez que, para Vergnaud Pastré e Mayen (2006), a fonte dos conhecimentos advém da resolução de situações, as quais devem ser problemáticas ao indivíduo. No entanto, o autor afirma que “a ideia de resolução de problemas não tem significado em si mesma, e não deve se opor à do conhecimento: na verdade, sem conhecimento, não temos meios para enfrentar novas situações” (VERGNAUD, 2007a, p. 291, tradução nossa)⁴². Assim, o evento só será construtivo se, de fato, vier de uma situação em que surjam perguntas e conflitos a serem solucionados, dessa forma, o conceito de situação é encarado pelo autor como sinônimo de tarefa: “qualquer situação complexa que pode ser analisada como uma combinação de tarefas, das quais é importante conhecer a natureza e a dificuldade própria” (VERGNAUD, 1996a, p. 167).

Assim, para a realização da pesquisa elaboramos uma sequência de situações envolvendo vários aspectos pertinentes ao campo conceitual da estequiometria, de forma que a proposição estabelecida por Vergnaud (1990; 2009), de que uma única situação não se mostra suficiente para construir e, nesse sentido, compreender um campo conceitual, fosse retratada.

Associadas às situações, várias perguntas foram respondidas pelos estudantes antes, por meio de um questionário prévio sobre alguns conceitos pertinentes à estequiometria, durante, mediante questões sobre as situações propostas e após, por intermédio de uma atividade de fechamento.

As situações foram promovidas em grupos mistos, ou seja, de alunos que cursavam diferentes séries da graduação. Apesar das situações serem desenvolvidas em grupos, pedimos

⁴²Citação original: Pero la idea de resolución de problema s no tiene sentido em sí misma, y no se la debe oponer a la de conocimiento: em efecto, sin conocimiento, no se tienen medios para enfrentar las situaciones nuevas.

que os estudantes respondessem individualmente cada um dos problemas propostos, de forma a assegurar maior liberdade e fidedignidade aos seus pensamentos.

À vista disso, para que pudéssemos entender, inicialmente, o que os estudantes compreendiam sobre alguns conceitos relacionados ao campo conceitual da estequiometria, propusemos uma atividade prévia que se constituiu baseada nas principais dificuldades de estudantes e professores encontradas na literatura (SANTOS; SILVA, 2014; SANTOS; SILVA, 2013; SANTOS, 2013; GOMES; MACEDO, 2007; MIGLIATO FILHO, 2005) sobre o campo em questão, como, o entendimento dos símbolos químicos, a conservação das massas em um processo, a unidade mol, as questões de proporcionalidade em reações, a constante de Avogadro, entre outros.

A atividade prévia (Quadro 5) também se enquadrou em um contexto diferente das demais situações, pois se referiu a problemas teóricos que estavam fora de eventos operatórios e dos quais os estudantes poderiam estar mais habituados com a resolução. Nesse sentido, a atividade prévia se aproximava mais, em alguns quesitos, de uma atividade convencional de estequiometria, o que poderia fornecer elementos, conclusivos à investigação, de contraposição frente às situações, seja, pelas facilidades ou dificuldades encontradas pelos estudantes na resolução tanto da atividade quando das situações.

Quadro 5: Atividade prévia sobre os conceitos que envolvem a estequiometria

01 – Considere os seguintes símbolos: $\text{H}_2\text{O}_{(s)}$; $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$; Na ; $\text{Na}^+_{(aq)}$; $\text{HCl}_{(g)}$; $\text{HCl}_{(aq)}$

- Explique o que cada símbolo representa.
- Represente cada situação acima, supondo cada átomo como uma esfera.
- Considere que em um sistema fechado, de capacidade 1L, tenhamos 5g de $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$. Se esta substância vaporizar-se, qual a massa final de H_2O ? JUSTIFIQUE.
- Considere que tenhamos a mesma massa de todos os símbolos acima destacadas. Elas possuem a mesma quantidade de substância? Explique.

02 – Quando uma mistura de 46,0g de etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) e 96,0g de oxigênio (O_2), é inflamada, a reação de combustão produz CO_2 e H_2O . Dados massas em g/mol: C = 12,0; H = 1,0; O = 16,0.

- Escreva a equação química desta reação.
- Represente cada molécula acima, supondo cada átomo como uma esfera.
- Usando as representações das moléculas criadas acima, escreva a reação de combustão do etanol.
- Qual a massa total de CO_2 mais H_2O após a reação se completar? Como você chegou a esta conclusão?

e) Se forem queimados 92,0g de etanol, qual a massa de oxigênio necessária para que ocorra a combustão sem nenhuma sobra de reagentes? Como você chegou a esta conclusão?

03 – Explique o que significa mol. Que relação existe entre 1 mol de água e 1 mol de ferro?

04 – Conhecendo as massas atômicas de dois elementos, X e Z, determine a fórmula mínima do composto formado por X e Z, considerando que seus percentuais na amostra sejam: X =75%; Z =25%. Explique como chegou ao resultado. Dados: X = 12 g/mol; Z = 1 g/mol.

Fonte: Autoria Própria

Passada a aplicação da atividade prévia, iniciamos com as situações. Um campo conceitual pode ser definido como um agregado de conceitos e situações que fazem parte do campo em discussão, assim, “não há uma situação para um conceito ou um conceito para uma situação” (VERGNAUD, 2015, p. 21). Considerando essas premissas foram elaboradas uma série de situações que tinham um conceito, à princípio, mais evidente que outros, dentro do campo da estequiometria, apesar de ser impreciso delimitar, ou inferir, que apenas um princípio era tratado.

Também a elaboração da sequência de situações foi organizada de forma que tivéssemos princípios com complexidades crescentes. Segundo Vergnaud (2009), as situações são compreendidas e os esquemas são desenvolvidos durante um longo período de tempo, carecendo de teoremas de níveis diferentes em relação a seus enredamentos. Em todas as situações e atividades buscamos investigar quais os invariantes operatórios foram mobilizados no processo de conceitualização dos estudantes e também a utilização de representações, com relação ao uso de símbolos matemáticos, físicos e químicos em respostas as situações. Assim, por meio desta investigação foi possível percorrer os objetivos específicos de cada atividade e situação, que são apresentados no Quadro 6, bem como, as datas dos encontros.

Quadro 6: Resumo das situações e atividades

Data e duração do encontro	Atividade/Situação	Objetivo de pesquisa da atividade/situação
12/01 4 horas	Apresentação da pesquisa/Aplicação de questionários de caracterização e prévio	Caracterizar os acadêmicos; Entender o que os estudantes compreendiam sobre alguns conceitos relacionados ao campo conceitual da estequiometria.

13/01 5 horas	Situação 1 – Determinação de proporções entre substâncias em reações	Investigar sobre uso do conceito de proporcionalidade em reações e fórmulas químicas e como as relações proporcionais são evocadas na estequiometria.
14/01 4 horas	Situação 2 – Determinação da conservação das massas em uma reação	Apurar sobre a utilização do conceito de conservação da matéria em reações químicas em termos macroscópicos e moleculares, além de analisar sobre a utilização desta concepção na estequiometria das reações.
16/01 4 horas	Situação 3 – Determinação de fórmulas químicas por meio dos padrões de massas	Examinar se os estudantes concebiam a ideia das massas moleculares por meio dos padrões e a necessidade em se utilizar as proporções para determinação dessas massas, bem como, como estas concepções refletem na estequiometria.
17/01 4 horas	Situação 4 – O uso dos símbolos químicos e os padrões de massa	Avaliar se os estudantes compreendiam o processo de determinação das fórmulas químicas, mediante os padrões e proporções e se os símbolos são entendidos nas instancias de uma reação, e posteriormente na estequiometria, com seus índices, proporções, entre outros.
18/01 5 horas	Situação 5 (parte a) – A constante de Avogadro e a unidade mol	Verificar se os alunos conseguiam realizar cálculos matemáticos com valores expressivos e sucessivas aproximações, além de investigar se compreendiam a questão da mensurabilidade da constante de Avogadro e suas relações com a estequiometria.
19/01 4 horas	Situação 5 (parte a e b) – A constante de Avogadro e a unidade mol	Inquirir sobre o conceito de mol e suas associações, quanto à unidade, quantidade de substância, entre outros, e as implicações dessas concepções na estequiometria.
20/01 5 horas	Situação 6 – A estequiometria	Investigar se e como os estudantes explicariam alguns processos que envolvem a estequiometria.
5 horas	Atividade de fechamento – A estequiometria	Compreender a significação dos conceitos e estratégias utilizados pelos estudantes na estequiometria.

Fonte: Autoria Própria.

Assim, para cada situação era dada inicialmente uma questão problematizadora, com vistas às reflexões sobre determinada situação e que depois deveria ser respondida por escrito. Cada uma das problematizações iniciais estava vinculada à continuidade das situações apresentadas. Desse modo, outras perguntas foram entregues para que pudessem registrar suas observações, ou ainda, para que pensassem sobre outros aspectos envolvidos nas situações.

SITUAÇÃO 1: A determinação de proporções entre substâncias em reações.

A situação 1 consistia do seguinte questionamento inicial:

Questionamento Inicial: Considere que os ácidos e bases disponíveis possuam a mesma concentração. Como é possível determinar a proporção na reação entre eles?

Para isso, os estudantes realizaram dois experimentos (Apêndice B). O primeiro consistia de uma titulação entre um ácido e uma base forte de mesma concentração, denominados A e B, respectivamente. Foram fornecidos todos os materiais e o procedimento para a realização do experimento, que sucedeu em grupos. Não eram identificadas as substâncias envolvidas na titulação, assim, projetamos que os acadêmicos se preocupariam somente com as quantidades do processo. Com a titulação foi possível determinar o volume gasto para a base forte e, conseqüentemente, era possível indicar a proporção entre o ácido e a base, já que possuíam as mesmas concentrações.

Como o ácido forte fornecido se tratava de uma substância monoprótica e a base, também forte, tinha uma hidroxila dissociável, a proporção encontrada entre os dois deveria ser 1A:1B. Após a execução do experimento no qual o diálogo se fez presente para o levantamento de suas hipóteses a respeito da proporção, os estudantes responderam 7 questões (Quadro 7) sendo as seguintes:

Quadro 7: Questões sobre o experimento 1 situação 1

- 1) No experimento 1, quanto foi necessário do volume da base (B) para a neutralização do ácido (A)?
- 2) Por que você acha que foi necessário este volume para neutralizar a quantidade inicial de ácido?
- 3) Se um outro ácido fosse usado, seria necessária a mesma quantidade da base B? Por quê?
- 4) Se o volume do ácido fosse dobrado, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Explique o valor indicado.
- 5) Se a concentração da base fosse dobrada, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Como justifica esse valor?

- 6) Usando os cartões coloridos fornecidos, represente a reação entre A e B na neutralização.
- 7) Indique algum ácido e base que poderia ser usado como exemplo nesse experimento. Se possível forneça a reação entre eles.

Fonte: Autoria Própria.

Para o segundo experimento as condições foram praticamente as mesmas, só havendo modificação no ácido, agora denominado C. Permanecemos com ácido e base fortes e com as concentrações igualadas. A diferença entre os dois experimentos se deu devido ao ácido ser diprótico, portanto, a proporção encontrada entre C e B seria de 1:2. Assim, procedemos com as questões do experimento 2 (Quadro 8).

Quadro 8: Questões sobre o experimento 2 situação 1

- 1) No experimento 2, quanto foi necessário do volume da base (B) para a neutralização do ácido (C)?
- 2) Por que você acha que foi necessário este volume para neutralizar a quantidade inicial de ácido?
- 3) Se o volume do ácido fosse dobrado, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Explique o valor indicado.
- 4) Se a concentração da base fosse dobrada, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Como justifica esse valor?
- 5) Usando os cartões coloridos fornecidos, represente a reação entre C e B na neutralização.
- 6) Indique algum ácido e base que poderia ser usado como exemplo nesse experimento. Forneça a reação entre eles

Fonte: Autoria Própria.

Com as questões da primeira situação, pretendíamos investigar se os estudantes conseguiam estabelecer as relações entre concentrações e, por consequência, determinar as proporções entre os componentes na reação química. Optamos por escolher situações as quais tivéssemos diferentes proporções, para que pudéssemos compreender, se, para correspondências mais complexas se expressariam da mesma forma. Também pedimos que explicitassem as reações por meio de cartões coloridos e símbolos, com o objetivo de identificarmos se alguns princípios como a conservação e a proporção seriam considerados.

SITUAÇÃO 2: Determinação da conservação das massas em uma reação.

A situação 2 foi estabelecida por meio da seguinte pergunta inicial:

Pergunta Inicial: O que se pode esperar em relação às massas das substâncias envolvidas em uma reação? Explique.

Na segunda situação os estudantes também começaram respondendo à pergunta inicial. Transcorrido o tempo, seguimos na realização do experimento 1 (Apêndice C) adaptado do livro “Ser protagonista, Ensino Médio, 1º Ano, 2013, p.75”, o qual integrava a situação 2.

O experimento consistia em determinar a variação das massas na reação entre o bicarbonato de sódio com o acréscimo do ácido acético. Cada grupo (num total de 4) ficou responsável por estabelecer uma massa inicial de bicarbonato diferente dos demais, acrescentando o mesmo volume de ácido em todos os casos. Como a reação entre o ácido acético e o bicarbonato tem como produtos o dióxido de carbono (substância gasosa), a água e o acetato de sódio (solúvel em água), a variação da massa se dava pela liberação do gás, assim, quanto maior a quantidade de bicarbonato inicial, maior a variação final da massa. Os valores de massas finais foram compartilhados com os outros grupos. Terminadas as determinações, os estudantes responderam as questões (Quadro 9), individualmente, sobre o experimento.

Quadro 9: Questões sobre o experimento 1 situação 2

- 1) Nesse processo, ocorreu alguma transformação? O que foi observado para que você chegasse a esta conclusão?
- 2) Nesse processo o que ocorreu com a massa do sistema? Como se pode justificar essa ocorrência?
- 3) Em qualquer outro processo ocorreria o mesmo com a massa do sistema? Se achar que não dê exemplos contrários.
- 4) Na reação entre o bicarbonato de sódio e o ácido acético em solução aquosa, ocorre a formação de dióxido de carbono, água e acetato de sódio (substância solúvel em água).
 - a) Esquematize a reação que representa o processo. A partir do esquema explique o que ocorreu com a massa do sistema.
 - b) Usando os cartões coloridos fornecidos, represente a reação envolvida. Use o sulfite para isso.
- 5) Nessa reação, para cada 84 g de bicarbonato de sódio ocorre a liberação de 44g de dióxido de carbono.
 - a) Que tipo de relação existe entre essas quantidades de reagentes e produtos?
 - b) Se a massa de bicarbonato usada fosse diferente a massa de dióxido de carbono desprendida seria de 44g?

- c) Dê a razão entre a massa de bicarbonato de sódio e a de dióxido de carbono.
- d) Considere a massa de bicarbonato medida no seu experimento para determinar a massa de dióxido de carbono resultante na reação. Faça o mesmo para os demais experimentos.
- e) Os valores encontrados no item anterior coincidem com as perdas de massas observadas nos quatro experimentos? Discuta.
- 6) Existe uma possibilidade da massa se conservar nesse experimento? Proponha uma forma se achar que sim.

Fonte: Adaptado do livro “Ser protagonista, Ensino Médio, 1º Ano”. 2ª Ed. São Paulo: Edições SM Ltda., 2013, p.75.

As questões sobre a segunda situação se remeteram a investigar, inicialmente, se os estudantes conseguiam refletir sobre o processo de conservação das massas em uma reação. A conservação também foi associada às quantidades de reagentes que, proporcionalmente, influenciaram na quantidade de produtos. Pretendíamos compreender, do mesmo modo, se os alunos usariam as relações proporcionais para explicar a variação das massas no processo, bem como se concebiam as relações proporcionais como derivadas das combinações entre as substâncias, o que poderia ser representado por meio dos cartões fornecidos.

SITUAÇÃO 3: Determinação de fórmulas por meio dos padrões de massas

A situação 3 foi iniciada por meio da seguinte pergunta inicial:

Pergunta Inicial: Como é possível determinar a proporção de elementos em uma substância, como, por exemplo, na molécula de H₂O?

Na terceira situação os estudantes deveriam, após responderem à pergunta inicial, realizar, em grupos, dois experimentos (Apêndice D). O primeiro consistia na determinação da fórmula de um hidrato. Para isso, executaram o procedimento fornecido que se fundava no aquecimento, em um recipiente, do sulfato de cobre hidratado. Com isso, precisavam, depois que a água tivesse evaporado, determinar a massa do sal desidratado. Logo na sequência, responderam as questões contidas no Quadro 10.

Quadro 10: Questões sobre o experimento 1 situação 3

- 1) Como é possível determinar a quantidade em matéria do sal e da água no sal hidratado?
- 2) A utilização de dados experimentais é suficiente para determinar a fórmula de uma substância? Qual a sua justificativa para isso?
- 3) Determinar a proporção percentual, em relação às massas, do sal e da água no sal hidratado. Explique, por favor, como os cálculos foram realizados por você.
- 4) A proporção determinada anteriormente (item 3) seria diferente se no experimento fossem

usadas massas diferentes de sal hidratado? Como se pode justificar isso?

5) Para que servem os padrões? Qual a importância em se adotar padrões na Química?

6) Você se lembra de algum padrão usado na Química? Se sim, por favor, comente.

Fonte: Autoria Própria.

No segundo experimento (Apêndice D), adaptado do livro “Ser protagonista, Ensino Médio, 1º Ano, 2013, p.253”, os estudantes necessitavam determinar e anotar a massa de grãos de feijão que serviria como padrão para outras determinações de números de grãos (lentilha, milho e arroz). Com isso, indicavam a massa de 10 grãos de feijão, depois identificavam quantos grãos “caberiam” na mesma massa para depois responder as perguntas (Quadro 11).

Quadro 11: Questões sobre o experimento 2 situação 3

1) Indique a proporção existente entre:

a) a massa de um grão de feijão e a de um grão de lentilha.

b) entre a massa de um grão de feijão e a de um grão de milho.

c) entre a massa de um grão de feijão e a de um grão de arroz.

2) É possível saber a relação de massa existente entre um grão de lentilha e um grão de milho? E um grão de milho e um grão de arroz?

3) Admitindo que a massa de um grão de feijão equivale a 10 u. i. (unidade inventada), calcule a massa de um grão de lentilha, de um grão de milho e de um grão de arroz utilizando a mesma unidade.

4) Admitindo que a massa média de um grão de feijão seja 0,3g e que um pacote desses grãos possui 1kg (1000g), quantas unidades de feijão, aproximadamente possui o pacote?

5) É possível, na prática, determinar a massa de um grão de açúcar em u.i.? Como?

6) Qual o papel dos feijões nessa atividade?

7) Como é possível determinar a proporção de elementos em uma substância, usando a massa como parâmetro?

Fonte: Adaptado do livro “Ser protagonista, Ensino Médio, 1º Ano”. 2ª Ed. São Paulo: Edições SM Ltda., 2013, p.253.

Com a realização da terceira situação pretendíamos compreender *se* e *como* os acadêmicos realizariam o processo para a determinação da fórmula do hidrato por meio dos dados empíricos da situação, averiguando se, em suas concepções, diferentes massas poderiam gerar substâncias diferentes.

Como a determinação das fórmulas (mínimas, moleculares) depende, portanto, do uso

de valores padrão de massas, aplicamos a segunda sequência de questões, justamente para que pudéssemos apurar a compreensão dos alunos com respeito a determinação dos padrões de massa das substâncias, além de verificar se considerariam as relações proporcionais entre massas nas fórmulas químicas.

SITUAÇÃO 4: O uso dos símbolos químicos e os padrões de massa

Com relação à situação 4 utilizamos a seguinte pergunta inicial:

Pergunta Inicial: Qual a necessidade em se utilizar símbolos na Química? E qual a importância em se utilizar símbolos em reações?

Para a quarta situação, os alunos começaram, como nos outros casos, respondendo à pergunta inicial. Na sequência, fizeram leitura individual do texto, “Transformação das Ideias”, adaptado do livro “Interações e Transformações I: Elaborando Conceitos sobre Transformações Químicas”, 2012, p.109-113. O texto se remetia a explicar algumas modificações acerca da composição da matéria e como a determinação das massas relativas foi necessária na constituição de fórmulas químicas mais precisas no que diz respeito a composição das substâncias. Após a leitura do texto, os alunos responderam as questões (Quadro 12), e por meio delas, necessitavam fazer a interpretação das ideias do texto.

Quadro 12: Questões sobre o texto 1 situação 4

- 1) Admitindo que as partículas que constituem o ácido clorídrico sejam formadas pela união de um átomo de hidrogênio com um átomo de cloro, podendo, assim, ser representadas por HCl, e sabendo que um 1,0g de gás hidrogênio interage com 35,5g de gás cloro para formar 36,5g de ácido clorídrico, qual a massa atômica de cloro em relação ao hidrogênio? Explique seu raciocínio.
- 2) Baseado na tabela de Dalton, em que é tomado o hidrogênio como padrão de massa, quantas vezes a massa do átomo de ferro é maior que a massa do átomo de enxofre? Como chegou a esta conclusão?
- 3) Considerando as massas relativas de Dalton, suponha que por meio de uma análise experimental, um composto é formado por 26,3% de azoto e 73,7% de oxigênio. Represente a fórmula desse composto e explique a lógica adotada para determinação da fórmula.
- 4) Considerando o composto acima formado (exercício 3), represente 3 partículas do mesmo utilizando a simbologia de Dalton.
- 5) Represente também usando a simbologia de Dalton,
 - a) 1 partícula com 4 átomos de fósforo;
 - b) 2 partículas formadas por 2 átomos de hidrogênio e 2 átomos de oxigênio.
- 6) Outro elemento adotado como padrão de massa foi o oxigênio, em 1865, por Jean Stas, isso

pelo fato de que o oxigênio reage facilmente com a maior parte dos elementos químicos. Usando os cartões coloridos, represente as reações abaixo em que o oxigênio é um dos reagentes. Explique o raciocínio usado em cada construção.

- a) Combinação do gás oxigênio (O_2) com enxofre (S) para formar o trióxido de Enxofre (SO_3)
- b) Combinação do gás oxigênio (O_2) com ferro (Fe) para formar o óxido de ferro III (Fe_2O_3)
- c) Combinação do produto do item **a** com o produto do item **b**
- d) Combinação do gás oxigênio (O_2) com metano (CH_4) para formar o dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O)

Fonte: Adaptado do livro “Interações e Transformações I: Elaborando Conceitos sobre Transformações Químicas, 2ª Ed. São Paulo: EDUSP, 2012, p.118.

Assim, com as perguntas da quarta situação pretendíamos investigar o uso de outros padrões de massa na determinação das fórmulas químicas, focando na perspectiva das proporções entre massas e nas combinações entre elementos, que deveriam ser representados por meio de cálculos e por cartões coloridos fornecidos aos alunos. Objetivamos também averiguar se os estudantes conseguiriam interpretar os símbolos do texto, bem como os índices numéricos que se apresentam em fórmulas químicas.

SITUAÇÃO 5: A constante de Avogadro e a unidade mol

Na situação 5 utilizamos a seguinte pergunta:

Pergunta Inicial: “Quanto tempo levariam os habitantes da Terra para contar as moléculas de 1cm^3 de gás, que estão nas condições normais de temperatura e pressão, admitindo que cada habitante conte duas moléculas por segundo? (CHASSOT, 1990, p.41)”

Iniciamos a situação cinco diferentemente das anteriores. Foi recomendado aos alunos que refletissem sobre a questão proposta, ou seja, não necessariamente por meio de cálculos e respostas por escrito, pois trataríamos de perguntas similares no decorrer da situação. Com isso, realizamos dois experimentos que poderiam auxiliar na compreensão da situação. O experimento 1 (Apêndice F), retirado do livro “Entre sólidos e líquidos - uma visão contemporânea e multidisciplinar - para a formação de professores e divulgação do conhecimento”, 2014, p. 29-37, consistiu na determinação da constante de Avogadro. Para isso, os alunos deveriam gotejar uma solução de azeite em um recipiente com água e pó de giz sobre a sua superfície, determinando o diâmetro do círculo formado pela solução em contato com a água. Considerando a área de óleo formada (camada monomolecular), a densidade do ácido entre outras determinações matemáticas, foi possível encontrar um valor aproximado

para a constante de Avogadro. Dessa forma, os estudantes puderam responder às questões do Quadro 13:

Quadro 13: Questões sobre o experimento 1 situação 5

- 1) A partir dos dados experimentais, determine a constante de Avogadro.
- 2) Conhecendo o volume de uma molécula de ácido oléico e o volume da circunferência da gota, medida experimentalmente, estabeleça comparações entre essas duas medidas.
- 3) Conhecendo o volume de uma molécula de ácido oléico e a constante de Avogadro aproximado, medido experimentalmente, estabeleça comparações entre essas duas medidas.

Fonte: Autoria Própria.

No experimento 2 (Apêndice F) eram focados, os aspectos relacionados a magnitude da constante de Avogadro. Para esse fim, os alunos deveriam contar o número de grãos de feijão que caberiam em uma caixa de fósforos, fazendo, posteriormente, sucessivas aproximações para determinar a quantidade de grãos de feijão que caberiam na sala de aula na qual realizávamos o experimento.

Quadro 14: Questões sobre o experimento 2 situação 5

- 1) Quantos feijões couberam na caixa?
- 2) Quantas dessas caixas seriam necessárias para armazenar 10.000.000 (dez milhões) de grãos de feijão?
- 3) Considerando o volume da caixa, em relação ao número de grãos, e o volume do laboratório, quantos feijões caberiam no local?
- 4) Considerando o cálculo acima, quantas salas de aula seriam necessárias para armazenar 1×10^{23} grãos de feijão?
- 5) Para se ter ideia da magnitude de átomos, podemos fazer uma comparação relativamente simples entre um fio de cabelo que tem uma espessura média de 7×10^{-5} m, enquanto que os raios atômicos medem alguns angstroms (10^{-10} m). Dessa forma, para imaginarmos o tamanho de um átomo, precisamos dividir a espessura de um fio de cabelo em 100 mil partes iguais.
 - a) Considerando essas dimensões você imagina que em uma gota de água existe uma pequena quantidade de moléculas ou uma grande quantidade de moléculas de água? Como você justifica sua resposta?
- 6) Supondo que você conte uma molécula por segundo, calcule (Adaptado do Livro “Química, volume único: ensino médio”, 1ª Ed. São Paulo: Editora Scipione, 2005, p. 159):
 - a) Quantas moléculas você contaria em uma hora?
 - b) Quantas moléculas você contaria em um dia?
 - c) Quantas moléculas você contaria em um ano?
 - d) Quantos anos você demoraria para contar $6,02 \times 10^{23}$ moléculas existentes em 18,0g de

água?

- e) Você considera que o número encontrado no exercício anterior é mensurável? Por quê?
- f) Que sugestão você daria para transformar um número tão grande e que representa entidades tão pequenas, em algo que possa ser facilmente medido?

Fonte: Autoria Própria.

Como o número de atividades propostos na quinta situação foi elevado, optamos por dividi-la em duas partes, sendo que o final da parte A foi desenvolvida no mesmo dia (19/01/2017) que a parte B, que consistiu na análise da definição da unidade mol pela IUPAC. Dessa forma, foi entregue aos alunos a definição e por meio dela era necessária a avaliação de uma série de assertivas (Quadro 15) das quais necessitavam justificar.

Quadro 15: Questões sobre definição de mol 1 situação 5

5ª Situação – Parte B

7) Considere a definição da IUPAC para mol:

“O mol é a unidade do Sistema Internacional para quantidade de substância, seu símbolo é mol. Considera-se que, em um mol, tem-se a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos contidos em 0,012 quilograma de carbono 12”.

Assim, analise as afirmações abaixo, julgue cada uma delas como verdadeira, ou falsa, apresentando a justificativa para a escolha.

- a) 1 átomo de carbono 12, tem massa equivalente a 12 g.
- b) Se em uma reação tem-se como produto um mol de gás carbônico (CO₂), podemos afirmar que uma molécula desse gás foi formada.
- c) O mol é a constante de Avogadro em átomos, moléculas, íons, etc.
- d) O mol é a massa molar em gramas.
- e) O mol é a unidade de quantidade de substância.
- f) Mol é a massa (em gramas) numericamente igual a massa molecular relativa de uma substância.

Fonte: Autoria Própria.

Com a quinta situação pretendíamos que os alunos calculassem, preliminarmente, a constante de Avogadro considerando os dados experimentais de forma que conhecessem as aproximações feitas para sua determinação. Pedimos que realizassem as comparações, por meio das questões sobre os experimentos, objetivando investigar suas compreensões sobre a magnitude da constante de Avogadro e sua relação com as dimensões atômico-moleculares.

Considerando a magnitude da constante de Avogadro e a necessidade da utilização de uma unidade que estabeleça relações entre a quantidade de partículas e um padrão conveniente, pretendíamos com as questões da parte B (situação 5), averiguar se os estudantes compreendiam os conceitos que envolvem a unidade mol.

SITUAÇÃO 6: A estequiometria

A situação 6 foi a única da qual não fornecemos uma pergunta inicial, pois, foram reservados vários questionamentos acerca do campo da estequiometria durante a situação. Também consideramos que uma única questão não retrataria, qualitativamente, os conceitos relacionados ao campo.

Por consequência, iniciamos o último experimento (Apêndice G) das situações propostas. Assim, os alunos realizaram a determinação da acidez do vinho branco, que consistia em um processo de titulação ácido-base (similar ao da primeira situação), em que o ácido tartárico era consumido por meio da reação com a base hidróxido de sódio, de concentração já determinada. Mediante o volume gasto da base na titulação era possível indicar a quantidade do ácido presente na amostra de vinho. Com isso, os alunos puderam pensar nas perguntas pertinentes a última situação (Quadro 16):

Quadro 16: Questões sobre o experimento 1 situação 6

- 1) Considerando o ácido tartárico ($\text{HOOCCH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$), que é um dos componentes do vinho branco, e o hidróxido de sódio (NaOH), explique qual a proporção em quantidade de matéria, existente entre essas duas substâncias em uma reação entre eles.
- 2) Você considera que a proporção seria a mesma se considerássemos suas massas ao invés da quantidade de matéria. Por quê?
- 3) Explique como é possível determinar a massa de ácido tartárico contido na amostra de vinho (20mL).
- 4) Se após a reação (neutralização) ser concluída, e se fosse possível evaporar toda a água presente na solução, sem perdas por decomposição do sal, explique como seria possível determinar a massa resultante.
- 5) Supondo que a massa do exercício 4 tenha sido determinada, como seria possível encontrar a quantidade dos íons que compõem o sal presentes na solução antes da evaporação?

Fonte: Autoria Própria.

Com as perguntas inerentes ao experimento 1 situação 6, visamos compreender como os alunos relacionariam as dimensões pertinentes ao campo da estequiometria. Nesse sentido, os alunos não foram questionados sobre as quantidades (mas poderiam calcular) e sim,

precisariam explicar os meios pelos quais compreendiam tal situação. Dessa forma, as perguntas, se remetiam a entender as relações, entre proporção em massa e quantidade de matéria em uma reação, o uso dos símbolos e fórmulas e a composição das substâncias, além da conservação das massas, demonstradas pelos acadêmicos.

Para concluir, aplicamos uma atividade de finalização, na qual os estudantes precisariam explicar todos os passos na resolução de 4 questionamentos (Quadro 17) que envolviam os conceitos do campo da estequiometria. Esta atividade foi desenvolvida e entregue posteriormente pelos acadêmicos. Orientamos para que os estudantes explicassem, antes da resolução dos exercícios, quais as suas compreensões sobre o enunciado e que estratégias eram pensadas para resolvê-los.

Também pedimos que explicassem, de maneira descritiva, todos os passos para resolução dos exercícios, além de, deixar claro em que momentos os conceitos de mol, conservação da matéria, simbologia, proporção e constante de Avogadro foram usados.

Quadro 17: Atividade de fechamento sobre os conceitos que envolvem a estequiometria

Exercício 1: O kaliapparat (figura) foi instrumento criado pelo químico alemão Justus von Liebig (1803 – 1873) em meados do séc XIX, que ajudou a química, principalmente a química orgânica a se desenvolver, pois através deste instrumento era possível se determinar de maneira mais precisa e rápida a fórmula das substâncias químicas recém descobertas. Nesse instrumento era possível coletar e quantificar o gás carbônico e a água produzidos pela combustão de um composto orgânico, e à partir daí determinar a fórmula mínima das substâncias queimadas. A massa da água era determinada através da passagem dos vapores provenientes da combustão por um tubo contendo cloreto de cálcio, CaCl_2 , esse sal possui a característica de absorver a água. Já o gás carbônico, passava por uma solução de hidróxido de potássio, KOH , formando como produto um precipitado de carbonato de potássio, K_2CO_3 .



Disponível em <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/vlpimages/images/img16848.jpg> acessado 08/06/2016

Sabendo que uma amostra de 7,2 gramas de um hidrocarboneto foi submetida à combustão utilizando o kaliapparat, segundo o processo descrito no texto acima e que essa queima gerou 10,8 gramas de água e 22,0 gramas de gás carbônico, qual é fórmula mínima desse hidrocarboneto?

Exercício 2: Foram dissolvidos 50,0g de carbonato de sódio, Na_2CO_3 , em água suficiente para se obter 500,0mL de solução aquosa. Qual a concentração em mol/L da solução de

Na_2CO_3 ? Quais as concentrações em mol/L dos íons sódio e carbonato na solução?

Exercício 3: Para determinar a massa molar de um ácido monoprótico desconhecido, HX, uma amostra de 0,1635g do ácido foi titulada com NaOH padronizado, de concentração 0,1mol/L. Sabendo que no procedimento foram usados 27,25mL de NaOH, qual a massa molar desse ácido?

Exercício 4: Para esse exercício considere que o isooctano (C_8H_{18}) é o principal componente da gasolina. Assim, considere também que a sua densidade é de 0,7kg/L e seu calor de combustão é de -5461,0 kJ/mol. Dessa forma, calcule a quantidade de energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.

Dado massas em g/mol: C = 12,0g/mol; H = 1,0g/mol; O = 16g/mol; Na = 23g/mol.

Fonte: Autoria Própria.

Com esses exercícios tínhamos o objetivo de compreender as estratégias usadas pelos estudantes. A forma pela qual os sujeitos explicitam suas conceitualizações podem revelar como seus invariantes estão organizados (VERGNAUD, 1996b), pois não há ação sem a construção de um conceito. As questões se remetem a quanto os conceitos estão implícitos ou explícitos para um indivíduo. Nesse sentido, as respostas eram um meio de tornar explícitos os conceitos estudados, tanto no que diz respeito à pesquisa, quanto ao próprio indivíduo, por isso a necessidade de declarar os passos e conceitos utilizados na resolução.

Finalizado o curso de extensão, foi possível construir um quadro indicativo (Quadro 18) com as atividades (Atividade Prévia, designado “AP” e Atividade de Finalização, designada “AF”) e situações (designadas “S”) das quais os estudantes participaram. Para cada um dos alunos, foi atribuído um código, com o intuito de manter a identidade dos indivíduos no anonimato. Os códigos foram estabelecidos considerando primeiramente a série do indivíduo seguido de uma letra ao qual o designava, assim, o código 1A se refere a um(a) aluno(a) da 1ª série do curso de Licenciatura em Química.

Quadro 18: Participação dos estudantes nas atividades (A) e situações (S)

A/S Alunos	AP	S1	S2	S3	S4	S5a	S5b	S6	AF
(1A)	x	x	x	-	x	x	x	x	-
(1B)	x	x	x	x	x	-	x	x	x
(1C)	x	x	-	x	x	x	x	x	x
(1D)	x	x	-	x	x	x	x	x	x

(1E)	-	X	X	X	X	X	X	X	X
(1I)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(2A)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(2B)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(2C)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(2D)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(2E)	X	X	X	X	-	X	X	X	X
(2F)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(2G)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(2H)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(2J)	-	X	X	X	X	-	X	-	-
(3A)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(3B)	X	X	X	X	X	-	X	X	X
(3C)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(3D)	X	-	X	X	X	X	X	X	X
(4A)	X	X	-	X	X	X	-	X	-
(4B)	X	X	X	X	X	X	X	X	-
(4C)	X	X	X	-	X	-	X	X	X
(4D)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(4E)	X	X	X	X	X	-	X	X	X
(5A)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(5B)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(5C)	X	X	X	X	-	-	X	X	X
(5D)	X	X	X	X	X	-	X	X	X

Fonte: Autoria Própria.

Com base nas situações propostas e, seguindo os princípios da pesquisa qualitativa, buscou-se, por meio das respostas dos estudantes às situações, compreender a conceitualização de alguns fundamentos relacionados ao campo conceitual da estequiometria. Para tal, utilizou-se a análise de conteúdo, proposto por Bardin (1977).

3.5 EMPREGANDO A ANÁLISE DE CONTEÚDO

Interpretação e compreensão das informações se constituem como um dos principais objetos da pesquisa qualitativa (FLICK, 2009). Para tal, algumas ferramentas foram propostas, como a análise de conteúdo.

A análise de conteúdo é elucidada por Flick (2009; 2013) como um procedimento para análise textual de qualquer origem. Moraes (1999) a indica como uma metodologia de pesquisa que visa retratar e interpretar o conteúdo de qualquer classe de documentos. Já Cavalcante, et al. (2014), a considera como uma técnica capaz de compreender realidades visíveis e implícitas.

Bardin (1977, p.9) trata a análise de conteúdo como,

Um conjunto de instrumentos metodológicos cada vez mais sutis em constante aperfeiçoamento, que se aplicam a discursos (conteúdos e continentes) extremamente diversificados. O factor comum destas técnicas múltiplas e multiplicadas - desde o cálculo da frequência que fornece dados cifrados, até a extracção de estruturas traduzíveis em modelos - é uma hermenêutica controlada, baseada na dedução: a inferência.

À vista da consideração destes autores, a análise de conteúdo pode ser encarada como uma importante ferramenta para compreensão de significados restritos ou amplos, ou seja, o que está análogo ao que se expressa, mas ainda, ao que pode ser subjetivo. Assim, “pode ser uma análise dos significados (exemplo: a análise temática), embora pode ser também uma análise dos significantes (análise léxica, análise dos procedimentos)” (BARDIN, 1977, p. 34).

Desta forma, a análise de conteúdo foi utilizada, nesta pesquisa, para compreender a conceitualização dos fundamentos que originam a estequiometria por estudantes da licenciatura em química, enfatizando tanto aspectos conceituais, como os dos significantes que permeiam tal campo. Para tal fim, utilizamos a organização da análise de conteúdo (BARDIN, 1977) que se concentra em torno de três momentos: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento, inferência e interpretação dos resultados.

- **Pré-análise**

A pré-análise consiste na organização do material. É uma fase exploratória que demanda sistematizações de forma a conduzir as operações posteriores, mesmo que flexível e atenta a novos elementos que possam ser introduzidos.

A pré-análise dá-se, normalmente, com uma leitura inicial do material, denominada leitura flutuante (BARDIN, 1977). Com ela, é possível retirar as primeiras impressões, como hipóteses emergentes, projetar teorias e refletir sobre possíveis técnicas de análise. Com isso, será possível a escolha dos documentos. Segundo Bardin (1977), o material pode ser eleito *a priori*, quando o objeto está contido no próprio material, ou *a posteriori*, quando os objetivos são independentes do material, desse modo será escolhido conforme necessidade.

Para esta investigação, o material de análise se constituiu por meio da escolha das situações e das questões formuladas previamente e que foram propostas aos alunos. Desta forma, para a pré-análise, foram utilizadas todas as atividades que já continham um objetivo de pesquisa determinado, mas que, por meio da leitura flutuante, também permitiram a amplificação das perspectivas iniciais. Assim, foi possível perceber que seria mais frutífero contemplar, para um mesmo conceito, pertinente ao campo da estequiometria, variadas atividades, o que também implica em utilizar as considerações da Teoria dos Campos Conceituais, ou seja, várias situações para compreensão de um mesmo conceito (VERGNAUD, 1990; 2009). Por este ângulo, o Quadro 19 indica a relação entre conceito e a atividade ou situação analisada:

Quadro 19: Relação entre situação/atividade analisada e conceito

Conceito \ A/S	AP	S1	S2	S3	S4	S5a	S5b	S6	AF
PROPORÇÃO	x	x	x	x	x			x	x
CONSERVAÇÃO DA MATÉRIA	x		x		x			x	x
MASSA MOLAR	x			x	x		x	x	x
SÍMBOLO	x	x			x			x	x
MOL e CONSTANTE DE AVOGADRO	x						x	x	x
ESTEQUIOMETRIA	x							x	x

Fonte: Autoria Própria.

Na sequência, Bardin (1977) sugere a formulação de hipóteses e objetivos. Neste caso, também se tem a proposição inicial do pesquisador, pois os objetivos e hipóteses podem ser determinados, e assim serão confrontados com os dados, ou ainda, podem ser estipulados por ideias emergentes e frequentes, tornando-se, assim, como alvo, a formulação de hipóteses e objetivos de investigação subjacentes.

Tanto em uma condição quanto em outra, ou seja, por meio de objetivos e hipótese já traçados, ou emergentes, será possível a atribuição de indicadores de análise. Ao final da pré-análise, o material poderá ser preparado para estudo, com edições, recortes, entre outros. Apesar de Bardin (1977) propor esta disposição para a pré-análise, a autora também revela que, esses passos não são estanques e são totalmente dependentes uns dos outros. Como exemplo, justifica que a escolha dos documentos se dá por meio dos objetivos, mas que só é possível cercar os objetivos com os documentos disponíveis.

- **Exploração do material**

A exploração do material fundamenta-se na concretização das decisões tomadas na pré-análise. Para isso os próximos elementos constitutivos do diagnóstico são a codificação e a categorização do material. A codificação é interpretada por Bardin (1977) como o tratamento das informações. Assim,

A codificação corresponde a uma transformação – efectuada segundo regras precisas – dos dados brutos do texto, transformação esta que, por recorte, agregação e enumeração, permite atingir uma representação do conteúdo, ou da sua expressão, susceptível de esclarecer o analista acerca das características do texto, que podem servir de índices [...] (BARDIN, 1977, p. 103).

Para a organização da codificação, Bardin (1977) se remete a três possíveis passos: escolha das unidades, eleição das regras de contagem e determinação das categorias. A escolha das unidades pode se direcionar a palavras, temas, objetos, documentos, dependendo do foco da investigação. Para este estudo, a escolha das unidades se direcionou aos temas determinados *a posteriori*, que se referiam aos invariantes mobilizados, por meio das situações, referente aos conceitos que fundamentam o campo conceitual da estequiometria. A título de exemplo, para a conservação da matéria, buscamos nas atividades/situações, já estipuladas, os invariantes mobilizados pelos alunos. Assim, expressões como, “*massa aumenta, massa diminui, massa se mantém em recipiente fechado*”, foram utilizadas para as explicações e resoluções das situações.

Após a determinação das unidades de registros, podem-se estabelecer regras para enumeração dessas unidades, considerando sua presença, ausência, frequência, intensidade ou ordem de aparição. Dessa forma, posteriormente é feita a indicação das categorias de análise, processo denominado de categorização.

Segundo Bardin (1977, p. 119), a categorização tem como princípio a ordenação de elementos que representam um conjunto, mediante seus caracteres comuns. Conseqüentemente, tem como objetivo “fornecer, por condensação, uma representação simplificada dos dados brutos (BARDIN, 1977, p. 119)”, sem desvios, nem por ênfase ou menosprezo de informações. À vista disto, valendo-se das unidades de registro, determinou-se as categorias, que, em decorrência do escopo desta investigação, consideramos serem os invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes durante a participação das atividades/situações.

● **Inferência e interpretação dos resultados**

Os processos de codificação e categorização fornecem elementos relevantes para a análise de conteúdo, no entanto, as inferências são a parte concluinte da compreensão sobre a mensagem trazida. É por meio dela que se pode saber mais sobre o conteúdo da informação. Segundo Bardin (1977), tanto códigos, como a significação deles, podem auxiliar na compreensão das informações imersas.

Isso posto, o código, ou seja, as expressões, frases, palavras, textos, significantes, entre outros, é considerado um indicador inicial, em que se considera a informação revelada condizente com o conteúdo. Já a significação, indica a “passagem sistematizada pelo estudo formal do código” (BARDIN, 1977, p. 135), que pode apresentar as mensagens declaradas e também latentes.

Desse modo, mediante a significação da informação, são estabelecidas as possíveis inferências e, conseqüentemente, a interpretação dos resultados. Para Bardin (1977, p. 138), “trata-se de realizar uma análise de conteúdo, sobre a análise de conteúdo”, ou seja, é o momento em que se compreendem as causas, partindo dos fatores conhecidos.

Sob esta ótica, ponderando Vergnaud (1996a), a análise de conteúdo e os objetivos deste estudo, justifica-se a escolha deste conjunto de instrumentos, pelo fato de contemplar os ideais presentes nesta investigação, como a compreensão das informações expressas e implícitas, buscadas aqui. Assim,

É necessário, pois, conceder uma grande atenção ao desenvolvimento cognitivo, às suas continuidades, às suas rupturas, às suas passagens obrigatórias, à complexidade relativa das classes de problemas, dos procedimentos, das representações simbólicas, à análise dos principais erros e dos principais fracassos (VERGNAUD, 1996a, p. 190).

Nesse sentido, utilizamo-nos da análise de conteúdo para a sistematização dos resultados e a Teoria dos Campos Conceituais como preceito interpretativo, como apresentado no capítulo 4.

CAPÍTULO 4: APRESENTAÇÃO E REFLEXÕES SOBRE OS RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados e reflexões sobre a investigação. Para isso, optamos por dividir a análise em seções por meio das quais, em cada uma delas, pudéssemos contemplar os conceitos que permeiam o campo conceitual da estequiometria. Nesse sentido, iniciaremos com as discussões pertinentes a conservação da matéria e na sequência serão também contemplados os conceitos de proporcionalidade nas reações químicas, de massa molar e padrões, dos símbolos, o mol e sua relação com a constante de Avogadro e, por fim, a integração destes conceitos para a constituição da estequiometria.

4.1 A CONSERVAÇÃO DA MATÉRIA NO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA

A conservação da matéria sempre foi alvo de discussões ao longo da história da ciência, desde as proposições filosóficas acerca da composição da matéria com atomistas como Lucrecio (99 a.C. – 55 a.C.), que afirmava que nada pode ser criado aleatoriamente e nem destruído totalmente, ficando constantes os átomos nas transformações (MARTINS; MARTINS, 1993; PATY, 1995), até as proposições apriorísticas, sobre a conservação, de Lavoisier, no final do século XVIII. Nesse sentido, a compreensão do processo de conservação da matéria, levou aproximadamente 1000 anos para ser corporificado, o que significa que, esta discussão não se mostrou e nem se mostra trivial em sua elaboração.

Assim, como na história da construção do conceito de conservação da matéria, naturalmente, a lógica concreta, adquirida durante nosso contato com situações as quais manipulamos e elaboramos o conceito de conservação, fazem-nos acreditar que, se queirmos algo, por exemplo, a massa resultante será menor, ou ainda, se assarmos um pão, a tendência é que o produto seja mais leve. Então, espontaneamente, notamos a diminuição da massa, na maioria dos processos, e, conseqüentemente, essa primeira ideia nos rodeia por certo tempo.

Nessa lógica, a própria noção de conservação perpassa por diversos aspectos e fases da aprendizagem. Segundo Ferrarini e Rancich (1989), a concepção de conservação da massa, de volume e de peso é adquirida pelos indivíduos em diferentes fases da aprendizagem, e, no

sentido da conservação das partículas, como átomos, moléculas, elétrons, o processo de compreensão necessita de mais empenho e situações nas quais essa relação se estabeleça, pois requer, por exemplo, discussões sobre as transformações em reações químicas e o entendimento sobre a participação de todos os componentes envolvidos.

Destarte, ao longo do desenvolvimento da compreensão da conservação da matéria em reações químicas, algumas concepções foram evidenciadas, em estudos preocupados com a temática (MITCHELL; GUNSTONE, 1984; ROSA; SCHNETZLER, 1998; SILVA; PITOMBO, 2006; AGUNG; SCHWARTZ, 2007; PIAI, 2007; SANTOS, 2013; SANTOS; SILVA, 2014), como o desaparecimento, destruição, aparição, expansão e contração, transmutação da matéria, matéria transformada em energia, entre outros.

Por esta perspectiva, a ideia da conservação, em seus vários aspectos, delonga um amplo tempo, assim como qualquer outro processo de conceitualização (VERGNAUD, 1982; 2011; 2013a) e na vertente das reações químicas, esta concepção pode ser formulada na medida em que as pessoas se deparem com situações nas quais ela seja necessária. No entanto, é possível compreender que, apesar das partículas, átomos, moléculas, entre outros, e o processo de conservação, estarem presentes em situações cotidianas, Vergnaud (1996a, p. 171-172) assinala que, “os dados pertinentes encontram-se imersos num conjunto de informações pouco ou nada pertinentes, sem que as questões que é possível colocar sejam sempre claramente expressas”, o que acaba por justificar a necessidade das variadas situações e problemas que precisam ser enfrentados para a sua significação, pois nesse caso, as informações propícias quase sempre estão imersas.

Com relação à conservação da matéria para a compreensão da estequiometria, autores como Mitchell e Gunstone (1984), Boujaoude e Barakat (2003), Agung e Schwartz (2007), Dahsah e Coll (2007), Santos e Silva (2014), Galagovsky e Giudice (2015), afirmam que essa concepção é essencial, pois, para se estabelecer relações entre as quantidades nos reagentes e produtos, deve-se partir do princípio que os átomos serão conservados durante o processo.

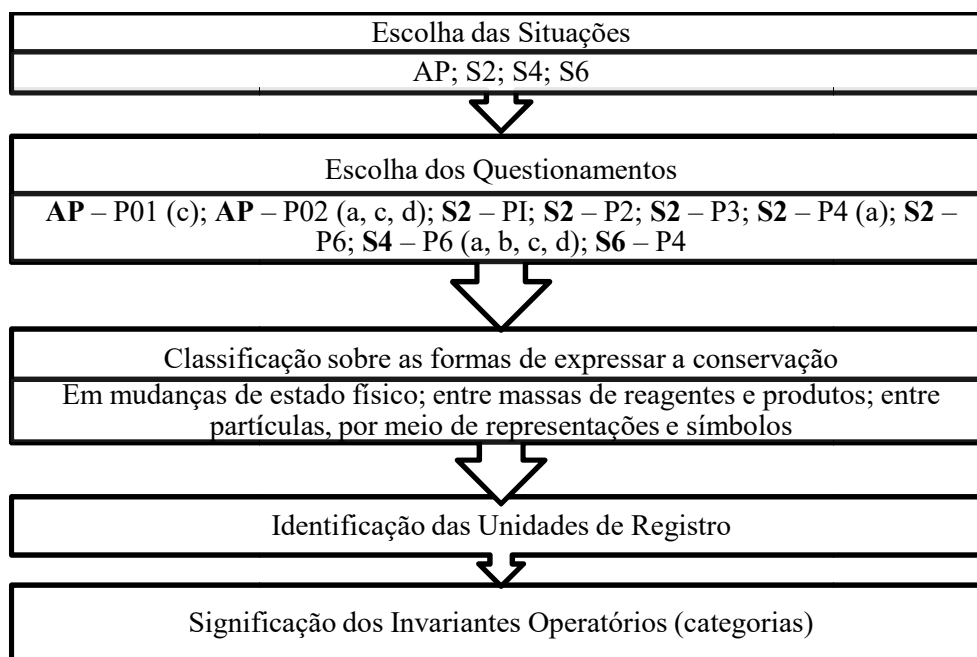
Assim, com o objetivo de compreender como estudantes da Licenciatura em Química conceitualizam, nas situações promovidas nesta pesquisa, a conservação da matéria e como essa construção pode influenciar no entendimento da estequiometria, buscamos percorrer nesta investigação, por todas as situações as quais a conservação da matéria se fazia explícita, como no caso da determinação das massas, ou implícita, como nos problemas aplicados à estequiometria.

Para isto, inicialmente, tínhamos um foco específico em cada situação. No que se remete a conservação, a Situação 2 guardava relações diretas com esta concepção, no entanto, considerando que um conceito é sempre formado por um conjunto de situações nas quais se faça necessário o seu uso (VERGNAUD, 1990; 2009) procuramos verificar em que outras situações e questionamentos era necessária a compreensão da conservação da matéria. Desse modo, foram selecionados questionamentos da Atividade Prévia (AP), e Situações 2, 4 e 6 (S2, S4 e S6). Destes questionamentos, foi possível estabelecer uma classificação sobre as diferentes formas de expressar a conservação, a saber: a conservação em mudanças de estado físico, as relações de conservação entre massas de reagentes e produtos e a conservação das partículas, por meio de representações e símbolos.

Isto posto, buscou-se nas justificativas e representações dos estudantes sobre os questionamentos, estabelecer o processo de identificação das unidades de registro, preconizadas pela análise de conteúdo (BARDIN, 1977). Com as unidades de registro, foi possível depreender os significados, ao qual entendemos representar os invariantes operatórios (categorias) expressados pelos estudantes, em resposta aos problemas propostos, já que, segundo Vergnaud (1996, p.160), “a observação dos alunos em situação de resolução de problemas, a análise das suas hesitações e dos seus erros, mostram que as condutas em situação aberta são igualmente estruturadas por esquemas”. Assim, o processo de compreensão da conceitualização da conservação da matéria, também buscado neste estudo, pode ser sintetizado na Figura⁴³.

⁴³ Todo o processo de categorização, para a conservação da matéria, encontra-se no Apêndice H.

Figura 8: Sistematização do processo de análise dos resultados para a conservação da matéria



Fonte: Autoria Própria.

Com a significação dos invariantes operatórios, conseguimos também verificar a sua ocorrência quanto ao aparecimento nas respostas dos estudantes, o que será discutido na sequência.

4.1.1 A conservação da matéria em mudanças de estado físico

A conservação da matéria, quanto às mudanças de estado físico, foi preconizada a partir de um dos questionamentos presente na atividade prévia desta investigação. Alguns estudos (STAVY, 1991; AGUNG; SCHWARTZ, 2007; SAMSRLA; EICHLER; DEL PINO, 2007), demonstram que, nem sempre os indivíduos têm muito claro a conservação da matéria quando se trata das mudanças de estado físico. Normalmente, ideias como os gases têm massa menor que os líquidos e sólidos ou, que podem ainda não ter massa, as partículas de gases podem se expandir ou as de sólidos se comprimir (devido ao pensamento que a matéria é contínua), demonstram alguns caminhos percorridos pelos indivíduos até a conceitualização da conservação da matéria nestas transformações. Neste sentido, buscamos compreender como os estudantes responderiam a determinada problemática quando propomos o seguinte questionamento (AP– P01 (c))⁴⁴: **Considere que em um sistema fechado, de capacidade**

⁴⁴ Optamos por utilizar sempre siglas para nos remetermos as atividades e situações. Neste caso AP-P01(c) representa Atividade Prévia, pergunta 01 letra c.

1L, tenhamos 5g de H₂O(l). Se esta substância vaporizar, qual a massa final de H₂O? JUSTIFIQUE.

Para este questionamento, obtivemos 6 possibilidades de invariantes operatórios manifestados pelos estudantes que foram agrupados e estão expressos no Quadro 20. Os invariantes operatórios são definidos como a parte cognitiva de um esquema, em que se pode encontrar a base conceitual, sobre a qual se é possível o estabelecimento e processamento das informações pertinentes (VERGNAUD, 2012).

Quadro 20: Invariantes operatórios expressos para a mudança de estado físico

Invariantes Operatórios	AP – P01 (c)	Total
A massa se mantém, pois o sistema está fechado	1A, 1B, 1C, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 3B, 4C, 4E, 5B	12
A massa se mantém, pois não há troca de matéria	1A, 2B, 2H, 3B, 3D, 4A, 4C, 5B	8
A massa se mantém, pois existe a mesma relação entre reagentes e produtos	1A, 1D, 2C, 2F, 4D, 5A, 5C, 5D	8
A massa se mantém, pois, houve somente mudança de estado físico	1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2D, 2F, 3D, 4A, 4C, 5A, 5B, 5C, 5D	15
A massa será diferente, pois não sobrar nada	2E	1
A massa será diferente, pois as propriedades dos reagentes e produtos são diferentes	3C	1

Fonte: Autoria Própria.

Considerando as respostas dadas a este questionamento, a maioria dos alunos anunciaram que a massa seria a mesma na mudança da água do estado líquido para vapor, como demonstrado pelos invariantes contidos no quadro na parte acinzentada. Segundo a elaboração das justificativas, encontramos invariantes diferentes para um mesmo aluno, já que algumas destas explicações eram elaboradas com base em vários aspectos conceituais, como no caso dos estudantes 1A e 5B que expressaram:

“Como o sistema fechado não há nem perda ou ganho de matéria para o meio externo a única coisa que acontecerá é que ao invés de ter 5g de H₂O (l), teremos 5g de H₂O (g)” (1A)

“A massa final de H₂O será a mesma que a inicial, pois o sistema é fechado, não há troca de matéria apenas de energia, logo, ao vaporizar, teremos uma mudança de estado físico mas não de massa” (5B)

Nesse sentido, Vergnaud (1982) afirma que diferentes problemas requerem o domínio de diferentes propriedades do mesmo conceito e, um mesmo problema, pode exigir a utilização de vários conceitos, desse modo, quanto maior for a capacidade do indivíduo em

expressar, para um mesmo problema, suas ideias, pode-se inferir que mais desenvolvidos estão seus esquemas sobre aquele conceito, e que estes esquemas possuem variados conceitos-em-ação e teoremas-em-ação (VERGNAUD, 1998; VERGNAUD; PASTRÉ; MAYEN, 2006).

Neste caso, consideramos que os estudantes confirmaram, inicialmente, que se tratava de um sistema fechado e esta percepção é relevante para que seja ponderada a questão da massa no sistema. Outros 10 estudantes também levaram em consideração a questão do sistema fechado para justificar a manutenção da massa da água. Esta era, então, uma propriedade da situação, ou seja, algo já demonstrado pelo próprio questionamento e, nesta lógica, os estudantes que expressaram o invariante operatório “a massa será conservada, pois o sistema está fechado”, também utilizaram outras formas de justificar a manutenção da massa.

O invariante operatório mais recorrente, expressado por 15 estudantes, também revelou a ideia de que a massa se manteria, pois, houve somente uma mudança de estado físico, como expressado por 1B e 2A.

“Na minha opinião, como se trata de um sistema fechado, a água mudará de estado físico, mas não mudará sua massa” (1B)

“A massa final da água apresentará a mesma massa, pois se encontra em sistema fechado, assim se ela vaporizar-se permanecerá no sistema” (2A)

A percepção da mudança de estado físico, declarada pelos estudantes, também demonstrou que as condições iniciais e finais do sistema foram, por eles, evidenciadas. Vergnaud (1996a; 2014) considera que para a conceitualização da conservação existe a necessidade da identificação da transformação do estado inicial para o estado final, resguardando as propriedades entre os estados, ou seja, seus relacionamentos. Nesse sentido discorre:

Nesses conjuntos complexos, propriedades qualitativas e quantitativas assim como relações são conservadas. Esses “invariantes” funcionam, por sua vez, como características de classes de transformações nas quais eles são efetivamente conservados. Trata-se igualmente de “Objetos lógicos” cuja compreensão está longe de ser evidente para as crianças, tal como vimos neste livro por várias ocasiões: número, peso, volume, velocidade, etc (VERGNAUD, 2014, p. 316).

Nessa acepção, as propriedades qualitativas, como a mudança de estado físico, foram conservadas pelos estudantes, além das propriedades quantitativas, quando referiam que a massa final seria de 5g. Quando evidenciaram que haveria a mudança de líquido para vapor, implicitamente, utilizaram do argumento que a mudança de estado físico, agregada à questão

do recipiente, não são condicionantes para que a massa seja modificada, assim demonstraram a condição da mudança de estado e não da substância, o que difere das concepções apontadas por Stavy (1991), em que crianças com idade em torno de 9 a 12 anos, quase não conseguiam identificar esta variação para a mudança de estado físico da acetona em recipientes fechados, e consideraram que ao final do processo, não existia mais nada, pois não visualizavam o produto. O autor discute, também, que esta concepção se atenuou quando as crianças foram avaliadas em anos seguintes de sua escolaridade, o que denota que esta ideia faz parte do processo de conceitualização da conservação da matéria em mudanças de estado físico.

Ponderando a relação entre as concepções, ao longo do processo da compreensão de um indivíduo, Vergnaud, Pastré e Mayen (2006) consideram que este caminho não é linear, portanto, este movimento não segue, necessariamente, a passagem de um estágio de desenvolvimento para outro, mediante acumulações. Dessa forma, as concepções de uma criança podem perdurar até a fase adulta e, o que fará a diferença no andamento da conceitualização serão as situações, que podem dar subsídios para que novas propriedades e relações sejam consideradas sobre determinado conceito. Nesta linha, um dos invariantes identificados se refere a diferenciações na massa final, segundo o estudante 2E,

“Se ela vaporizar não sobrar nada” (2E)

O invariante “a massa será diferente, pois não sobrar nada” pode ser considerado devido ao fato de o estudante não notar as condições das quais o problema estava posto, ou ainda, que as propriedades de relacionamentos qualitativos e quantitativos não foram construídas para este tipo de situação. Mesmo nestas condições (de sistema fechado), o processo de conceitualização da conservação da matéria também pode agregar informações de transformações, não somente com os componentes em sistemas isolados, mas também com suas vizinhanças. Nesse contexto, e diferentemente de 2E, 8 estudantes acabaram por justificar a conservação, utilizando o invariante operatório “a massa se mantém, pois não há troca de matéria”, como clarificado nos excertos de 3D e 4C:

“Não houve perda ou adição de matéria, apenas o arranjo espacial das moléculas” (3D)

“Por estar em sistema fechado a massa será a mesma pois não interação com a vizinhança; o sistema está isolado, portanto a massa se conserva ainda que transformada de estado” (4C)

As informações, “não houve perda ou adição de matéria” ou ainda “não interação com a vizinhança” denotam que os estudantes provavelmente vislumbraram, mesmo em sistemas abertos, a conservação da massa, pois a ideia não está somente contida na situação, e

sim na composição do sistema com a sua vizinhança, logo, mesmo que o sistema estivesse aberto, a massa deveria ser conservada em seu conjunto.

No tocante às relações entre componentes químicos, ou seja, reagentes e produtos, o invariante operatório “a massa se mantém, pois existe a mesma relação entre reagentes e produtos” demonstrado por 8 estudantes, como pode ser exemplificado nos excertos das respostas de 2C e 4D:

“A massa continua a mesma, pois o sistema é fechado e ao passar do estado líquido para o estado gasoso as moléculas mudam apenas o seu grau de ordenação (que no caso diminui), porém a massa (ou número de moléculas) é constante” (2C)

“A massa final será a mesma (5g), pois mantém-se a proporção do reagente para o produto” (4D)

A relação entre produtos e reagentes também demonstrou a significação do conceito de conservação da matéria por estes estudantes. Neste caso, não somente a identificação do recipiente fechado auxiliou para que este invariante fosse expresso, mas também, a vinculação entre a relação de igualdade entre eles no processo, dito “*ou número de moléculas é constante*”, bem como, as propriedades dos componentes antes e depois, quando consideraram a mudança de “*5g de H₂O (l), teremos 5g de H₂O (g)*” (estudante 1A).

Neste contexto, é possível inferir que os estudantes conceberam a permanência das moléculas ou da substância na mudança. Vergnaud (2014), apoiado em Piaget, discute que o processo de conhecimento, consiste, entre outras coisas, em reconhecer aspectos da realidade que contém objetos que são permanentes nas transformações, podendo estes objetos ser particulares, ou seja, mesmo em decorrência de mudanças, como deslocamentos e deformações eles não serão modificados. Ainda, segundo Vergnaud (2014, p. 315), “o conhecimento consiste, em larga medida, em recortar, na complexa sequência dos aspectos da realidade, invariantes que assumem o *status* de ‘Objetos lógicos’ e que, sob esse título, podem ser integrados em uma representação calculável”. Sob esta ótica, o reconhecimento da conservação em um processo exige que se tenha a percepção que algo deva permanecer constante, e para uma reação química, pode-se pensar em termos de constância dos átomos, cargas, massa, proporção, substância, e muitos outros aspectos, assim como evidenciado pelos estudantes que consideraram a conservação.

No que concerne ao invariante operatório apresentado por estes estudantes (2C e 4D), mesmo que implicitamente, a ideia da permanência auxiliou na compreensão que a conservação existia, devido à permanência das moléculas, verificando que, ao final também

haveria água, ou ainda, devido à concepção de que a transformação deve ser constante em termos de partículas, massa, entre outros.

Embora estas relações sejam importantes para a construção e/ou desenvolvimento de invariantes operatórios que subsidiem esquemas sobre a conservação, em alguns casos, mesmo com a noção de manutenção das moléculas, e das variáveis da situação percebidas, outros conceitos foram utilizados pelos estudantes como forma de expressar seus conhecimentos sobre a conservação. No entanto, na tentativa de buscar e expressar informações úteis para a justificativa, alguns conceitos, os quais não se aplicavam aquela situação em específico, foram manifestados, como no caso de 3C:

“A massa final de H₂O será diferente do começo, pois a densidade do líquido e do vapor serão diferentes” (3C)

No que diz respeito ao estudante 3C, a informação revelada, ou seja, o conceito de densidade para a água líquida e água vapor, foi pertinente. Vergnaud afirma que o processo de conceitualização é sempre um caminho tortuoso e longo, e que consiste na “identificação de objetos com suas propriedades, relações e transformações (VERGNAUD, 2007a, p.299, tradução nossa)⁴⁵, portanto, este caminho não é linear.

Como um conceito é formado por um conjunto de situações, invariantes e representações, neste ínterim, é necessária a utilização de uma gama de conceitos e teoremas-em-ação, no entanto, o reconhecimento da pertinência destes invariantes está totalmente atrelado à situação da qual fazem parte. Para o estudante 3C, o conceito de densidade foi dado como devido em sua justificativa, ou seja, um conceito foi transposto para a situação, no entanto, a utilização do invariante “a massa será diferente, pois as propriedades dos reagentes e produtos são diferentes”, contribuiu para que chegasse a conclusão de que a massa resultante não se manteria.

Ainda sobre a utilização de conceitos que não se aplicam às situações, Vergnaud (1982, p. 36, tradução nossa)⁴⁶, afirma que, no processo de desenvolvimento cognitivo, “é um fato que os estudantes tentam fazer novas situações e novos conceitos significativos para si próprios, aplicando e adaptando as suas antigas concepções”. Assim, serão necessárias outras situações, as quais este estudante reconheça que, mesmo com densidades diferentes, a aplicação desta ideia deverá ser ponderada pela situação.

⁴⁵Citação original: identificación de los objetos del mundo, de sus propiedades, relaciones y transformaciones.

⁴⁶Citação original: It is a fact that students try to make new situations and new concepts meaningful to themselves by applying and adapting their former conceptions.

4.1.2 As relações de conservação entre massas de reagentes e produtos

A conservação da matéria quanto as suas relações em massa, nas transformações químicas, também foi foco de nossa investigação. Esta concepção se mostra relevante, pois, pode ser uma possibilidade de aproximação entre as propriedades macroscópicas e atômico-moleculares das reações, em seus aspectos qualitativos e quantitativos. Como discutido no desenvolvimento histórico do campo conceitual da estequiometria, todas estas relações foram desenvolvendo-se concomitantemente, integrando este campo.

No que diz respeito ao desenvolvimento cognitivo do conceito de conservação, tratando-se das massas em reações químicas, algumas concepções também foram discutidas em investigações sobre o assunto. Mitchell e Gunstone (1984), Özmen e Ayas (2003), Agung e Schwartz (2007), Santos e Silva (2014) relataram que, quando se tratam de reações nas quais, há uma diminuição aparente do material, como a combustão de uma vela ou madeira, a decomposição de corpos, o processo de dissolução, ou uma pessoa realizando atividades físicas, naturalmente os indivíduos atribuem, também a diminuição das massas. Já para o aumento aparente do material, como o crescimento de uma árvore, a formação de um precipitado em uma reação, ou na alimentação, é comum atribuir aumento de massa, independente do sistema ao qual se realiza a reação.

Considerando este contexto, das concepções apresentadas, procuramos compreender, dentre outros aspectos, como os alunos participantes desta pesquisa conceitualizavam a conservação das massas em reações químicas. Para isso, selecionamos as situações e questionamentos que, de alguma forma, envolviam este processo de constância, relativos às massas para análise dos dados, sendo as seguintes: **AP – P02 (d): Qual a massa total de CO₂ mais H₂O após a reação se completar? Como você chegou a esta conclusão?** **S02 – PI: O que se pode esperar em relação às massas das substâncias envolvidas em uma reação? Explique.** **S02 – P02: Nesse processo o que ocorreu com a massa do sistema? Como se pode justificar essa ocorrência?** **S02 – P03: Em qualquer outro processo ocorreria o mesmo com a massa do sistema? Se achar que não, dê exemplos contrários.** **S02 – P06: Existe uma possibilidade da massa se conservar nesse experimento? Proponha uma forma se achar que sim.** **S06 – P04: Se após a reação (neutralização) ser concluída, e se fosse possível evaporar toda a água presente na solução, sem perdas por decomposição do sal, explique como seria possível determinar a massa resultante.**

Para as respostas a estes questionamentos, 6 possíveis invariantes operatórios foram expressados pelos estudantes, como indicado no Quadro 21.

Como demonstrado no Quadro 21, a maioria dos estudantes conseguiram expressar invariantes operatórios que se enquadraram em uma percepção de que a massa era constante em processos químicos (parte acinzentada). Nesse contexto explicitaram, ao menos uma vez, que as condições experimentais são essenciais para que a massa se conserve durante o processo, assim o invariante operatório “a conservação da massa é dependente das condições experimentais” foi o segundo mais recorrente nas explicações, como evidenciado nos excertos de 1B, 1E, 2G, 2A, 3A, 5A:

(Resposta para S02PI) *“Acredito que acontecerá a conservação da massa, caso a reação aconteça em um sistema fechado, mas caso não, parte da massa pode ser perdida” (1B)*

(Resposta para S02PI) *“A massa continua a mesma, segundo Lavoisier: “na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. Mas isso só vale para um sistema fechado, pois, em um sistema aberto, se a reação liberar gás não será possível “medir” a massa. Então, a massa total de reagentes usados na reação deve ser a mesma dos produtos gerado por ela” (2G)*

(Resposta para S02P03) *“Não. Existem reações em que a massa se conserva outras em que a massa diminui e também as que aumentam como por exemplo, neste experimento a massa diminuiu devido a liberação de gás, se fechássemos o sistema com uma bexiga por exemplo poderíamos observar que o mesmo experimento a massa se conserva, e com a queima do bombril é possível observar o aumento da massa” (3A)*

(Resposta para S02P06) *“Sim. Se a reação fosse realizada em um sistema fechado, teria a conservação da massa” (5A)*

(Resposta para S06P04) *“A partir de uma alíquota deixa-se evaporar, e a partir disso pesa-se essa alíquota e faz a reação do que tinha no início, quanto eu tenho na alíquota e assim encontro a massa resultante entre elas” (1E)*

(Resposta para S06P04) *“Ao evaporar toda a água do produto da reação, neste caso, o sal solúvel na água ao evaporar toda a água, sobrarão somente o sal e assim poderá ser determinado a massa, com a balança, ou mesmo através dos cálculos e a proporção” (2A)*

Quadro 21: Invariantes operatórios expressados para as relações entre massas em reações químicas

Invariantes Operatórios	AP – 02 (d)	S02 – PI	S02 – P02	S02 – P03	S02 – P06	S06 – P04	Total
A conservação da massa é dependente das condições experimentais		1B, 1I, 2G, 2J, 3B, 3D		1A, 2B, 2C, 2E, 2F, 3A, 3B, 3D, 4D, 4E, 5A, 5C, 5D	1A, 1B, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2J, 3A, 3D, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1E, 2A, 2D, 2E, 2F, 2H, 3A, 3B, 3D, 5A, 5B, 5C, 5D	54
Existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos	2A, 2C, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B	1A, 1E, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 3B, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1A, 1B, 1I, 2A, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 2J, 3A, 3B, 3C, 3D, 4B, 4C, 4B, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1A, 1B, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 3A, 3B, 3C, 3D, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1B, 1E, 2B, 2C, 2E, 2F, 2G, 2J, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 5C	1A, 2D, 3B, 3D, 4A, 4E	93
Existe a conservação devido à correspondência entre as massas e/ou quantidade de matéria dos produtos	1A, 2D, 2F, 2H, 4B						5
Existe a conservação devido à correspondência entre as massas e quantidade de matéria dos reagentes e produtos	1D, 2C, 3D, 4C, 5A, 5B					2C, 3C, 4D	9
A massa é diferente, pois, existe a relação apenas entre massa e/ou quantidade de matéria nos produtos	1I, 2B, 5C, 5D						4
Massa é diferente, pois, a relação entre as massas de reagentes e produtos, e/ou suas quantidades de matéria, não é direta	3A, 3C		1E, 2B		2H, 3B		6

Fonte: Autoria Própria.

Tanto na situação 2 como na situação 6, em que foi mobilizado este invariante operatório, trabalhamos com sistemas abertos. Apesar disso, ficou claro para os alunos que a massa se conservaria, caso outras condições experimentais fossem preconizadas, assim como na discussão sobre as mudanças de estado físico. Nesse seguimento, nem sempre os estudantes, ao conceitualizarem as transformações químicas, mesmo em sistemas fechados, conseguem compreender que a massa se mantém, assim como discutidos por Mitchell e Gunstone (1984), Özmen e Ayas (2003), Agung e Schwartz (2007), Santos e Silva (2014), mesmo para alunos do ensino superior.

Para a situação 6 esperávamos que os estudantes pudessem expressar seus invariantes na determinação da massa de sal produzido pela neutralização de um ácido, assim, a intenção inicial era que explicassem por meio de cálculos ou expressões sobre o processo de como seria possível determinar a massa deste sal. No entanto, 13 deles se prenderam às condições experimentais, então, o invariante sobre a conservação se demonstrou sob outra forma, indicando que, se a massa da água fosse evaporada, seria possível encontrar a massa final. Assim, conseguiram perceber que, como o produto da neutralização é a água e o sal, e se a água fosse evaporada, ter-se-ia a massa do sal. Sobre estas justificativas consideramos que, também apresentaram este invariante que, “a conservação da massa é dependente das condições experimentais”.

Nesse sentido, as justificativas para as situações, provavelmente se remeteram a situações anteriores, que foram vivenciadas e que contribuíram para que expressassem estes invariantes, hora comentando “*se fechássemos o sistema com uma bexiga por exemplo poderíamos observar que o mesmo experimento a massa se conserva*”, ou ainda, “*se usar por exemplo, uma garrafa PET de água mineral e um tubo de ensaio [...]. Vire a garrafa para que o vinagre entre em contato com o bicarbonato. Depois que a reação terminar, determine a massa do sistema, vai ser observado que a massa continua a mesma*” (estudante 2G) , ou como no caso do questionamento sobre a situação 6, em que vários deles atribuíram como lógica a ideia de “*ao evaporar toda a água do produto da reação, neste caso, o sal solúvel na água ao evaporar toda a água, sobrar somente o sal*”.

Ponderando sobre o processo de conceitualização da conservação da matéria, foi possível perceber que, tanto quanto os conceitos, as situações vivenciadas pelos estudantes também foram relevantes ao ponto de auxiliarem na formulação de conceitos, rompendo com possíveis conhecimentos anteriores e/ou ampliando-os, assim como preconizado por Vergnaud (2013a).

Quanto às relações diretas entre as massas de reagentes e produtos, expresso pelo invariante operatório “existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos”, encontramos a maior representatividade dentre as respostas, ou seja, foram manifestados 93 vezes e em todos os questionamentos selecionados, como nos excertos que correspondem aos códigos abaixo:

(Resposta para APP02 (d)) “A massa de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ será igual a massa de etanol + oxigênio, pois a quantidade que está de um lado da reação tem que ser igual a outra” (2A)

(Resposta para S02PI) “Em uma reação química a massa das substâncias envolvidas deve ser conservada, ou seja, a mesma massa que temos nos produtos deve ser igual a dos reagentes, apesar de nem sempre observarmos isso por conta do estado físico dessas substâncias, como por exemplo quando estão no estado gasoso, porém a massa sempre será a mesma” (5D)

(Resposta para S02P02) “A massa do sistema diminui. Com a formação de bolhas houve liberação de gás, que não é contada na massa final do sistema” (2F)

(Resposta para S02P03) “Não, pois se colocássemos água com bicarbonato só iria se solubilizar” (1E)

(Resposta para S02P03) “Não, se a reação foi feita em um sistema fechado a massa do sistema permaneceria a mesma, ou então a realização de uma transformação, a qual não teria como produto um gás, por exemplo: $\text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{KI}(\text{aq}) \rightarrow \text{AgI}(\text{s}) + \text{KNO}_3(\text{aq})$ ” (4E)

(Resposta para S02P06) “Sim, se a reação e o experimento forem realizados em um sistema fechado acredito que seria possível preservar a massa. Pois, a massa que perdemos durante o experimento é devido a formação do dióxido de carbono. Se o experimento for realizado em um sistema fechado o gás se concentraria no recipiente” (2J)

(Resposta para S02P06) “Sim, supondo que seja montado um sistema fechado, uma forma de realizar esse experimento seria utilizando uma bexiga em um erlenmeyer adicionar a solução de acetato, pesar o bicarbonato e transferir para a bexiga. Prender a bexiga ao frasco, e pesar o sistema inicial, depois verter o conteúdo da bexiga, esperar a reação se completar e pesar o sistema final” (4D)

(Resposta para S06P04) “Considerando que o único componente remanescente seja o tartarato de sódio, uma simples pesagem resolveria. É possível também calcular as massas dos produtos obtidos através da análise reacional. Seria a massa inicial adicionada de ambas as substâncias, menos a massa da água evaporada” (3D)

Para o questionamento da atividade prévia, buscamos compreender se os estudantes reconheceriam o vínculo entre as massas já indicadas na atividade. Ou seja, as massas de etanol e oxigênio já eram fornecidas, logo, poderiam expressar a massa resultante pela soma

das massas iniciais. Neste caso, 8 alunos consideraram que esta soma, das massas iniciais, demonstrava a massa dos produtos, como exemplificado por 2A. Quando comparadas às situações 2 e 6, os estudantes puderam expressar de forma condizente que a soma das massas dos reagentes será como a soma das massas dos produtos, assim, enunciaram por mais vezes o invariante “existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos”.

Consideramos desta forma que, independentemente da maioria dos estudantes possuir o conceito de conservação, que se expressou por meio das relações entre as massas dos reagentes e produtos, para a atividade prévia, a minoria tomou esta concepção como uma propriedade óbvia. Assim, grande parte dos estudantes discorreu, em vários momentos, sobre esta ideia, no entanto, ela não foi assumida como premissa para determinar a massa dos produtos da combustão, o que resultou nos invariantes “a massa é diferente, pois, existe a relação apenas de entre massa e/ou quantidade de matéria nos produtos” e “a massa é diferente, pois, a relação entre as massas de reagentes e produtos, e/ou suas quantidades de matéria, não é direta”, como exemplificado nas respostas de 2B, 3A e 5C:

(Resposta para APP02 (d)) *(Calcula massa molar CO_2 e H_2O) (2B)*

(Resposta para APP02 (d)) *(Acha a massa de CO_2 considerando a proporção da reação e também a da água, mas não estabelece relação entre os dois e não acha a massa total) (5C)*

(Resposta para APP02 (d)) *(Escreve a equação balanceada, calcula a massa molar de etanol e O_2 . Faz a relação entre as massas de etanol e CO_2 , mas só encontra a massa de CO_2). “Como a reação é 1:2 o resultado multiplicamos por 2, ou seja, 88g de CO_2 ” (3A)*

Nestes casos, os estudantes iniciaram o processo de construção da ideia, e apresentaram considerações relevantes para resolver a problemática levantada pela atividade prévia, como, encontrar a massa molar, ou propor correspondências entre os componentes da reação. No entanto, ao ponderarem, por exemplo, somente sobre as massas dos produtos, ou suas quantidades de matéria, como 2B e 5C, não conseguiram transpor a concepção de que existe a igualdade entre a soma das massas dos reagentes e produtos, encontrando então, por vezes, a massa dos produtos maior ou menor que a inicial. Por este ângulo, é possível perceber que no processo de conceitualização é comum a utilização de argumentos e conceitos que, mesmo se mostrando fiáveis em determinadas situações, em outras, não são considerados pertinentes. Para Vergnaud (1996a, p. 163) isso se deve ao fato de que,

Um esquema não é um estereótipo, mas uma função temporalizada com argumentos, que permite gerar sequências diversas de ações e de tomadas de

informação, em função dos valores das variáveis da situação. Um esquema é sempre um universal, porque se encontra associado a uma classe, por outro lado, porque esta classe não está, em geral, acabada.

Nessa lógica, em outras conjunturas, 5 estudantes mobilizaram o invariante “existe a conservação devido à correspondência entre as massas e/ou quantidade de matéria dos produtos”, mas neste caso, mesmo estabelecendo somente relações entre as propriedades dos produtos, conseguiram indicar a sua massa adequada, como demonstrado nos trechos das respostas de 1A e 4B:

(Resposta para APP02 (d)) *“142g de $CO_2 + H_2O$ após a queima” (1A)*

(Resposta para APP02 (d)) *“Massa total de $CO_2 + H_2O = 142g/mol$. Foi possível chegar a essa conclusão através do cálculo estequiométrico da reação” (4B)*

Também para evidenciar que a massa seria a mesma ao final da reação, ou ainda, para encontrar a massa final de um dos produtos, por 9 vezes, estes indivíduos levaram em consideração, não somente informações sobre as massas, mas também, ponderações em termos de quantidades de matéria, como evidenciado em 1D, 3C e 4D:

(Resposta para APP02 (d)) *“Pela relação estequiométrica, 1 mol de etanol está para 2 mol de CO_2 e 3 mol de H_2O , logo, calcula-se a massa para um mol de etanol, no caso 46,0g e a massa para dois e três mols de CO_2 e H_2O respectivamente, visto que foram usados 1 mol de etanol” (1D)*

(Resposta para S06P04) *“A massa do produto pode ser calculada pela mesma relação de proporção, pois 1 mol de ácido ou hidróxido gera um mol do produto final e 3 mols de água” (3C)*

(Resposta para S06P04) *“Conhecendo a reação, é possível determinar o número de mols de sal que é formado, sabendo a massa molar do sal é possível por regra de três simples determinar a massa de sal produzido” (4D)*

Dessa forma, consideramos que o invariante operatório “existe a conservação devido à correspondência entre as massas e quantidade de matéria dos reagentes e produtos” contribuiu para que estes indivíduos expressassem suas considerações sobre a conservação da matéria.

4.1.3 A conservação das partículas, por meio de representações e símbolos

Para esta investigação nos preocupamos também em compreender como os estudantes conceitualizavam a conservação da matéria no que diz respeito à quantidade de partículas em uma reação química. Segundo alguns estudos (MITCHELL; GUNSTONE, 1984; YARROCH, 1985; DA SILVA; DEL PINO, 2014), neste processo, é comum que os

indivíduos não estabeleçam relações entre a variação das massas em uma reação, com a mudança na quantidade de partículas associadas a ela. Afirmam assim, que nem sempre os sujeitos conseguem distinguir a diferença entre átomos, moléculas, íons, entre outros, e dessa forma, preveem a conservação dos átomos, mas quando estes estão associados a outros átomos, os indivíduos compreendem que suas propriedades modificam-se, assim, podem ter sua massa modificada (MITCHELL; GUNSTONE, 1984).

Sobre esta conjuntura, no que diz respeito à conservação da quantidade de partículas, promovemos algumas situações as quais os estudantes poderiam exprimir seus invariantes operatórios (indicados no Quadro 22), pois, compreendemos que no processo de conceitualização da conservação da matéria, os aspectos atômicos, que podem ser expressos por meio dos símbolos e representações, são tão relevantes quanto os aspectos experimentais das reações, como no caso da conservação das massas.

Nesse âmbito, Vergnaud (1996a; 2009; 2013b), afirma que um conceito também é formado pelo conjunto da representação e que ele está intimamente conectado aos invariantes operatórios e as situações. Nesse ponto de vista, o conjunto da representação tem a função de auxiliar na resolução da situação por ajudar na identificação de objetos decisivos à conceitualização.

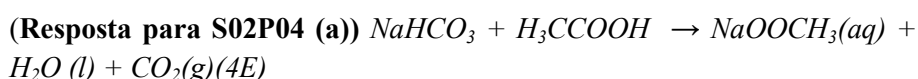
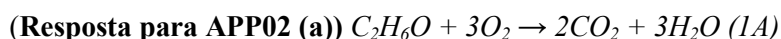
Por este contexto, no que diz respeito à conservação, a sua conceitualização exige que o indivíduo seja capaz de relacionar tanto as situações que envolvam este conceito, quanto captar e significar, por meio dos invariantes operatórios as informações pertinentes, como por exemplo, a constância dos objetos. Esta constância só é possível se, de alguma forma, este objeto estiver representado, quanto ao indivíduo, o que implica no uso do sistema de esquemas, conceitos, significantes e significados.

Por isto, em alguns momentos pedimos que manifestassem, em termos de representações e símbolos químicos, algumas equações: **AP – P02 (c): Usando as representações das moléculas criadas acima, escreva a reação de combustão do etanol. S04 – P06: Usando os cartões coloridos, represente as reações abaixo em que o oxigênio é um dos reagentes. (a) Combinação do gás oxigênio (O_2) com enxofre (S) para formar o trióxido de enxofre (SO_3) (b) Combinação do gás oxigênio (O_2) com ferro (Fe) para formar o óxido de ferro III (Fe_2O_3) (c) Combinação do produto do item a com o produto do item b (d) Combinação do gás oxigênio (O_2) com metano (CH_4) para formar o dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O). AP – P02 (a): Escreva a equação química**

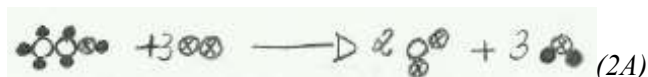
desta reação. S02 – P04 (a): Esquematize a reação que representa o processo. A partir do esquema explique o que ocorreu com a massa do sistema.

Com relação às representações e símbolos, seis invariantes operatórios foram expressados pelos estudantes, no que diz respeito à conservação da matéria, sendo que, em termos de representatividade, a maioria demonstrou a compreensão sobre a conservação das partículas, como indicado no Quadro 22, na parte acinzentada.

O invariante operatório “existe a conservação devido à correspondência entre reagentes e produtos e seus respectivos coeficientes proporcionais” foi expresso tanto nas representações quanto nas equações. Para este invariante, consideramos as expressões que continham os coeficientes estequiométricos das reações. Necessariamente, o uso dos símbolos para indicar as equações químicas exigia a utilização dos coeficientes estequiométricos, o que a princípio foi pronunciado pelos estudantes, como no caso da atividade prévia, questionamento 2 letra a e da situação 2 questionamento 4 letra a. Nesse seguimento, os estudantes dão indícios da conceitualização da conservação da matéria, com o uso dos símbolos, estabelecendo relações dos símbolos que eram pertinentes aos reagentes e depois aos produtos, e também, quando este invariante operatório foi demonstrado em meio as representações, e neste sentido, também consideramos que, os estudantes viam como necessário o uso dos coeficientes proporcionais para indicar a conservação entre as partículas, como expresso por 1A, 4E e 2A:



(Resposta para APP02 (c))



De certa forma, os acadêmicos explicitaram que o uso dos significantes (símbolos) era relevante para a demonstração da conservação da matéria, e que, possuem certa familiaridade com tal ideia. No entanto, o fato de fazer uso dos símbolos não implica que se faça a relação entre a expressão e o que ela representa. A constância pode ser dada em termos de símbolos e também em termos de partículas, no processo de conceitualização da conservação da matéria e, normalmente, os estudantes possuem mais facilidade em tratar da manutenção dos símbolos (YARROCH, 1985; GALAGOVSKY; GIUDICE, 2015).

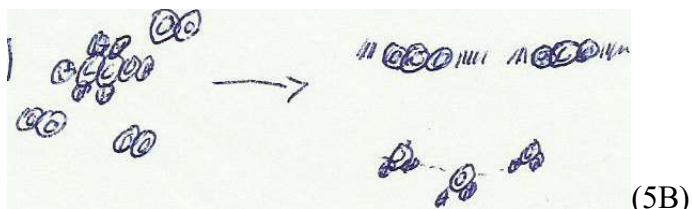
Quadro 22: Invariantes operatórios expressos, por meio das representações e símbolos, para a conservação

Invariantes Operatórios	AP – P02 (c)	S04 – P06 (a)	S04 – P06 (b)	S04 – P06 (c)	S04 – P06 (d)	AP – P02 (a)	S02 – P04 (a)	Total
Existe a conservação devido à correspondência entre reagentes e produtos e seus respectivos coeficientes proporcionais	2A, 3A, 4A					1A, 1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2D, 2G, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1A, 2C, 2D, 2E, 2J, 3A, 3C, 3D, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	39
Existe a conservação devido à correspondência entre a quantidade de partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação	2C, 2D, 4C, 4E, 5A, 5B, 5D	1B, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 2J, 3A, 3C, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D	1B, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D	2A, 2C, 3A, 3C, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5D	1B, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 2J, 3C, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D			65
Existe a conservação devido à correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas	3C	1A, 1C, 1D, 1E, 1I, 3B, 3D, 4B	1A, 1C, 1D, 1E, 1I	1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 2B, 4B	1A, 4B		1E, 2A, 2B	26
Existe uma relação entre reagente e produto, indicados pela representação ou equação, mas, sem relação proporcional direta entre os componentes	1B, 1D, 2H, 3D	2B, 2G	2G, 3B		2G, 3B, 3D	1B, 2H		13
Existe correspondência entre a quantidade de partículas, que não é direta, nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou equação	2F, 4D		2J	5B	2A	2E, 2F, 3B		8
Existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas	1I, 2B, 2E, 3B, 5C		2B, 4B	1I, 2D, 2G, 2H, 3B	1C, 1D, 1E, 1I, 3A	2B	2H, 3B	20

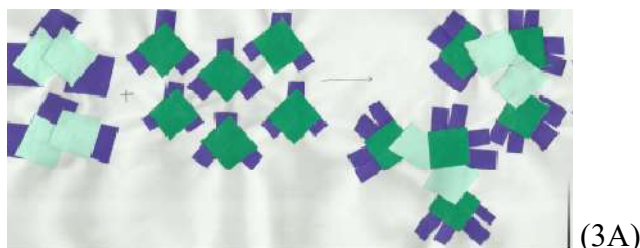
Fonte: Autoria Própria.

Nesse contexto, o invariante operatório mais decorrente, revelado em 65 circunstâncias, demonstrou que os estudantes compreendiam a conservação da matéria mediante a correspondência entre a quantidade de partículas nos reagentes e produtos, como indicados pela representação de 3A e 5B:

(Resposta para APP02 (c))



(Resposta para S04P06 (c))



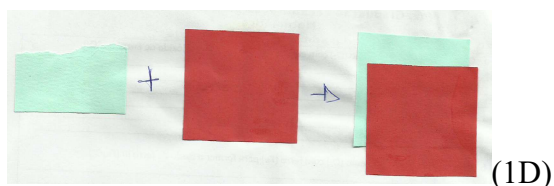
Neste sentido, Vergnaud (2014) discute que, a questão da constância dos objetos nem sempre se remete a um objeto particular, mas pode se referir também à manutenção das características de uma classe, ou seja, “as propriedades necessárias e suficientes que devem os objetos possuir para pertencerem a uma classe formam a característica dessa classe (VERGNAUD, 2014, p. 315)”. Assim, para conceitualização da conservação da matéria, em termos de partículas se faz necessário, não somente, compreender que os átomos serão mantidos, mas que ao final, esses átomos devem fazer parte de uma classe específica.

O invariante operatório “existe a conservação devido à correspondência entre a quantidade de partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação” demonstrou, então, que os acadêmicos conseguiram expressar que, deveria existir a permanência entre “partículas” no processo, e ainda, que estas “partículas” constituíam um conjunto compatível com a sua fórmula, como no caso da formação do gás carbônico (CO_2) e água (H_2O), como representado pelo estudante 5B, ou ainda, sulfato de ferro III ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), como indicado pelo estudante 3A. Em contrapartida, em outros momentos, o invariante operatório “existe a conservação devido à correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas” explicitou o fato de os acadêmicos compreenderem a necessidade em se manter as partículas antes e

depois, no entanto, não foram mantidas as características da classe indicada, tanto para os reagentes, quanto para os produtos.

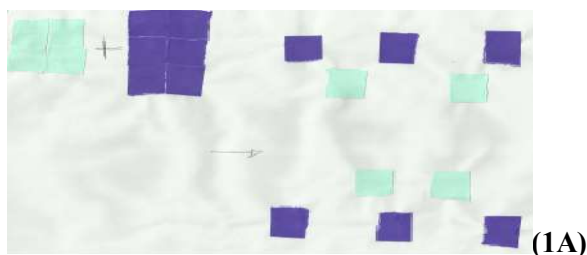
Como exemplo disso, o estudante 1D explicita suas ideias sobre a conservação das partículas, mas, como a situação exigia que utilizassem um cartão colorido para representar cada átomo e, para o exemplo dado, partia-se da combinação do enxofre e oxigênio para a formação do trióxido de enxofre ($S + O_2 \rightarrow SO_3$), a constância no sentido das características da classe não foram consideradas pertinentes:

(Resposta para S04P06 (a))

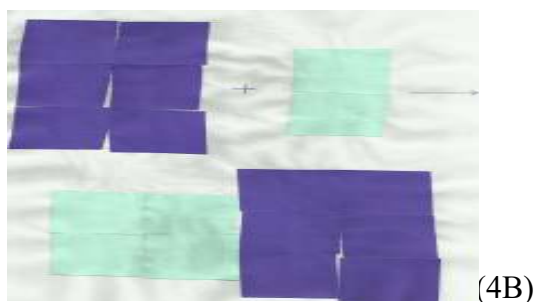


Em outros casos, a quantidade de partículas também se mostrou constante, desse modo, os estudantes expressaram a conservação para o processo. Além disso, preocuparam-se em considerar os símbolos da equação, logo, o número de cartões representados, mostrou-se compatível com a conservação. No entanto, a ideia da constância das características das classes (substâncias), não foi explicitada, já que nas figuras não demonstraram a compatibilidade entre os símbolos e a representação, como exemplificado nas representações de 1A e 4B:

(Resposta para S04P06 (b))



(Resposta para S04P06 (b))



Para alguns alunos a conservação das características da classe se mostrou mais relevante que a conservação da matéria, desse modo, por 13 vezes, o invariante operatório “existe uma relação entre reagente e produto, indicados pela representação ou equação, mas, sem relação proporcional direta entre os componentes” foi evidenciado. Neste contexto, obtivemos exemplos de representação e equações como de 1B, 2G e 2H:

(Resposta para APP02 (c))



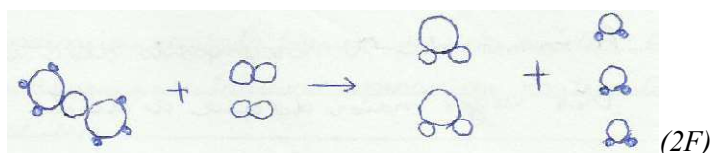
(Resposta para S04P06 (d))



(Resposta para APP02 (a)) $C_2H_6O(l) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(l)$ (2H)

Ademais, outras conjunturas também foram apresentadas, em que identificamos a tentativa dos estudantes em conciliar o conceito da conservação, em relação aos aspectos pertinentes a representação, símbolos e manutenção nas propriedades das substâncias. Por este ângulo, o invariante operatório “existe correspondência entre a quantidade de partículas, que não é direta, nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou equação” foi exposto por 8 estudantes, ao representar a reação de combustão do etanol, como exemplificado em 2F e 3B:

(Resposta para APP02 (c))

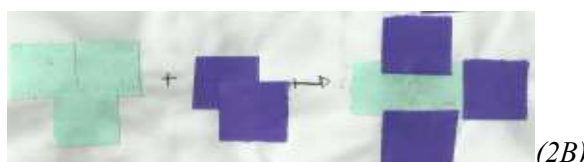


(Resposta para APP02 (a)) $C_2H_6O + 3/2O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O$ (3B)

Para este invariante evidenciamos que os estudantes, inicialmente, estabeleceram relações entre as quantidades e símbolos para os reagentes e produtos. No entanto, ao ponderar sobre essas correspondências, desapareceram ou não compreenderam que as relações indicadas não coincidiam com a conservação da matéria.

Por fim, a não conservação da matéria também foi marcada pela manifestação do invariante operatório “existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas”, decorrentes em 20 respostas apresentadas. Como demonstrados nos exemplos de 2B e 2H:

(Resposta para S04P06 (b))



(Resposta para S02P04 (a)) $H_3CCOOH + Na_2CO_3 \rightarrow H_3CCOONa^+ + CO_2 + H_2O$ (2H)

Para inferir sobre este invariante, analisamos as respostas em que os estudantes estabeleciam relações entre reagentes e produtos, no entanto, esta ponderação não deixava clara a concepção de conservação da matéria, já que, não existia a igualdade entre os componentes no processo.

Logo, foi comum a explicitação da conservação da matéria, sobre o ponto de vista, da utilização dos coeficientes proporcionais, do uso dos símbolos e da representação, e nesse sentido a maioria dos acadêmicos expressou, em alguns momentos invariantes que se remetiam a conservação das partículas em reações químicas. Apesar disso, foram constantes as tentativas em conciliar os aspectos simbólicos, representacionais e conceituais, que resultaram em invariantes operatórios não remetidos a conservação da matéria.

Nesse contexto, o processo de conceitualização da conservação das partículas, demanda a ideia de que elas não podem aparecer ou sumir aleatoriamente, bem como, a reflexão sobre a classe da qual estas partículas fazem parte, no caso os reagentes e posteriormente os produtos. Assim, elas devem manter-se e ainda “obedecer” a uma lógica geral de agrupamento no processo, que depende das características químicas de cada componente. Sobre estes aspectos, recaem as questões conceituais da conservação das partículas.

Também no processo de conceitualização da conservação das partículas, além dos aspectos conceituais, a representação e a simbologia, devem ser levadas em conta, pois, são uma forma de transpor os aspectos conceituais. Desse modo, foi possível perceber que aos poucos os estudantes vão integrando e estabelecendo relações entre os significados

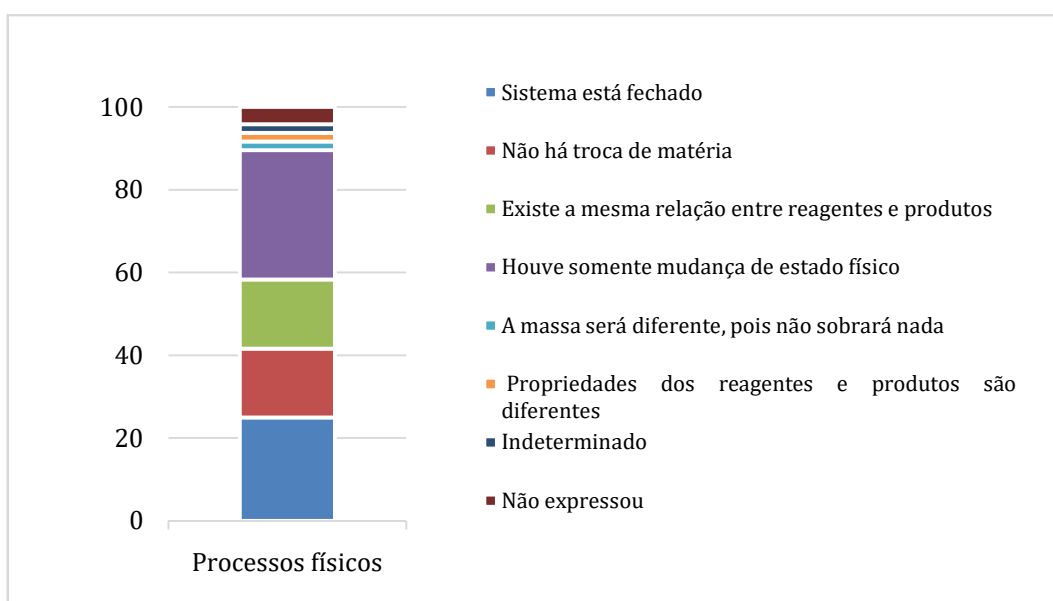
(conceitos) e significantes (símbolos), mesmo nas tentativas em que a conservação não foi observada.

4.1.4 Considerações sobre a conservação da matéria

A conservação da matéria, quando nos referimos à sua conceitualização, demanda um longo processo de reflexão e agrupamento de variados conceitos, que lhe são pertinentes. Sobre esta ótica, percorremos esta ideia sobre três aspectos, nas mudanças de estado físico, nas relações entre massas de reagentes e produtos e sobre a perspectiva das representações e símbolos.

Conseguimos desta forma, entender que, ao menos na situação apresentada, em torno de 25% os estudantes que participaram desta pesquisa compreendiam que, em uma mudança de estado físico, caso o recipiente esteja vedado, a matéria será conservada, o que pode ser evidenciado na Figura 9. Também foi possível verificar que na medida em que vão conceitualizado a conservação nas mudanças de estado físico, os estudantes agregam mais informações, como a participação das vizinhanças (em torno de 17% das respostas), a manutenção das massas e das substâncias, antes e após o processo (em torno de 48% das respostas), a densidade, entre outros. Apesar disso, nem sempre o desenvolvimento de determinados conceitos, os revelam como pertinentes ou não àquelas situações.

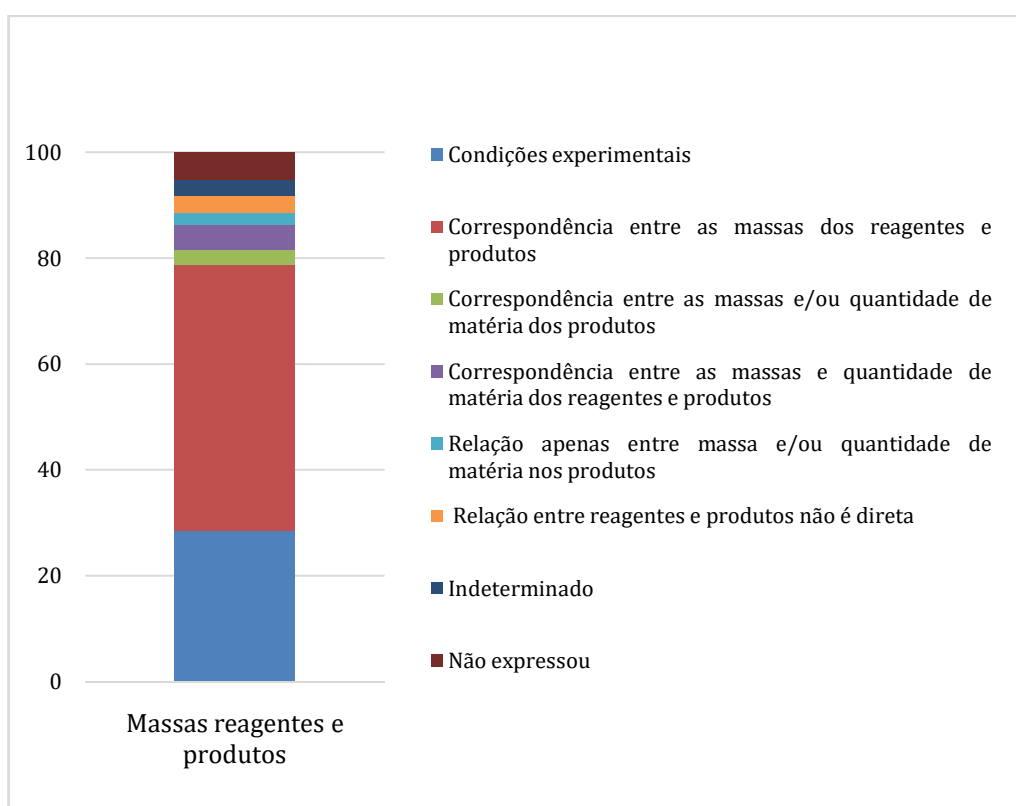
Figura 9: Distribuição percentual dos invariantes operatórios em relação à conservação em processos físicos



Fonte: Autoria Própria

No que se refere à conservação das massas, interpretamos que os estudantes, por algum motivo, têm segurança em afirmar que a matéria vai ser conservada nas reações químicas (em torno de 87% das respostas), no entanto, não conseguiram transpor esta concepção para a determinação das massas ao final de uma reação, especialmente, quando se tratava de expressar, numericamente, as relações entre os componentes (pouco mais de 5% das respostas). O mesmo foi evidenciado nas expressões sobre as representações e símbolos que, competia, em nosso entendimento, marcar as relações entre a conservação das partículas.

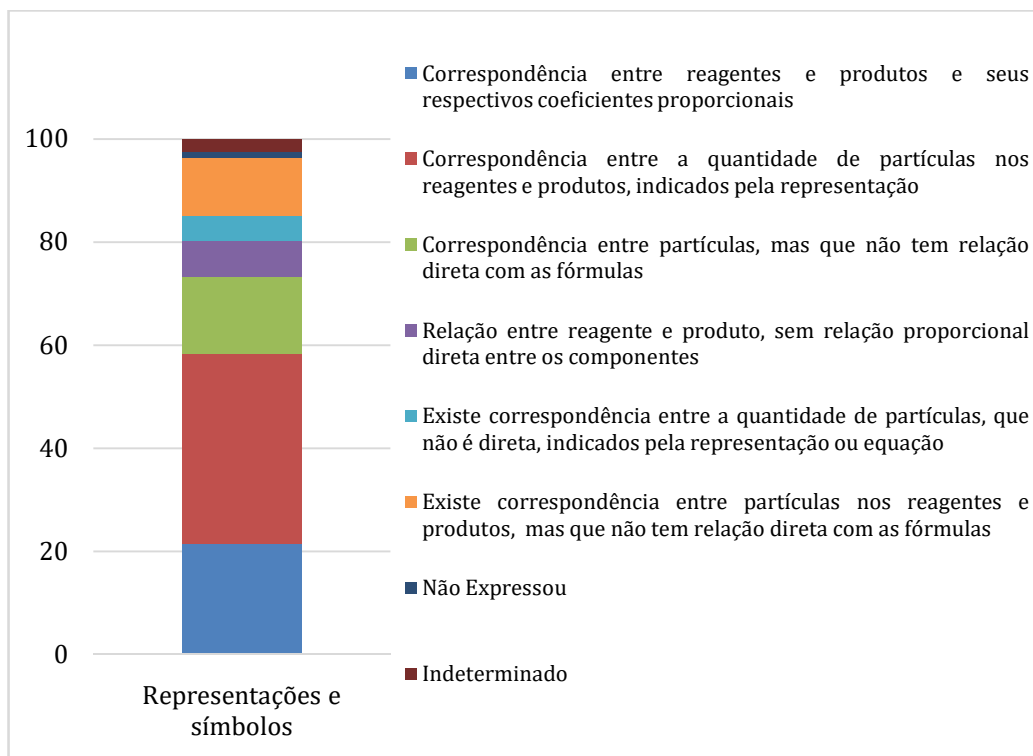
Figura 10: Distribuição percentual dos invariantes operatórios em relação à conservação das massas em reações



Fonte: Autoria Própria

Independentemente da dificuldade, em transpor o conceito de conservação da matéria, ter se expressado sobre os três aspectos por nós investigados, foram mais recorrentes os invariantes operatórios da não conservação da matéria sobre a perspectiva dos símbolos e representações (pouco mais que 23% das respostas), fato que, pode ser justificado pela necessidade em integrar as questões conceituais aos símbolos, pois somente a sua indicação não remete a conceitualização.

Figura 11: Distribuição percentual dos invariantes operatórios em relação à conservação da matéria em representações e fórmulas



Fonte: Autoria Própria

Assim, a conceitualização da conservação não depende somente em enunciar que a matéria sempre será conservada, mas sim, em expressar esta ideia em todas as situações possíveis como, nas transformações em sistema abertos ou fechados, na participação ou não de gases e sólidos, no consumo aparente de um reagente, entre outros. Desse modo, a presente investigação trouxe, para estas situações, que o desenvolvimento do conceito de conservação se dá por meio das situações vivenciadas pelos estudantes e que foram relevantes para que justificassem a constância.

A conceitualização da conservação da matéria também necessita de considerações sobre a permanência dos objetos particulares, como os átomos, elétrons, entre outros, além da manutenção e relacionamento entre uma classe desses objetos, como os componentes de uma reação. Sem a ponderação da permanência destes objetos e de suas classes, possivelmente, a conservação será levada sobre o ponto de vista ou da conservação apenas das partículas, ou somente das substâncias.

4.2 AS RELAÇÕES PROPORCIONAIS NO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA

As relações proporcionais contemplam outra vertente importante do campo conceitual da estequiometria. Ao longo do desenvolvimento histórico-conceitual deste campo, ou mesmo, da química, os aspectos proporcionais foram explorados, especialmente quando se referiam à composição da matéria, que poderia ser pensada em termos de diferentes proporções, por exemplo, terra, ar, água e fogo, nos elementos aristotélicos (OKI, 2002) nas proporções constantes, em massa, volume, ou em termos de partículas, dos compostos químicos (Proust e Dalton), e entre os compostos, nas reações químicas (Richter), até mesmo, na determinação dos padrões de massas atômicas.

Neste sentido, a ideia de proporcionalidade permeia a compreensão das relações nos compostos químicos e entre os compostos químicos. No entanto, ao se tratar dessas relações no ensino de química, poucos estudos enfatizam ou exploram a sua relevância (RAMFUL; NAROD, 2014).

Como exemplo, Krajcik e Haney (1987) discutem sobre a importância da temática no ensino de química de nível médio. Os autores procuravam compreender os processos de pensamento necessários para o aprendizado em química e, com este objetivo, foi aplicado um teste, composto por 15 itens, que versava sobre a conservação de peso e volume, raciocínio proporcional e combinatório, probabilidade e controle de variáveis. O teste foi aplicado para 170 estudantes de química de uma escola preparatória para o ensino superior e cada aluno deveria selecionar uma das respostas de múltipla escolha e depois escrever uma breve explicação para sua opção. Segundo os autores, os alunos que obtiveram as maiores pontuações no teste, conseguiam elaborar suas justificativas, coerentemente, pautados em relações proporcionais, assim, ponderaram que, apesar de ser um estudo inicial, e que os alunos poderiam se apoiar em algoritmos para resolver as questões, o raciocínio proporcional desempenha um papel importante no estudo da química (KRAJCIK; HANEY, 1987).

Sasseron e Carvalho (2008) consideram, ademais, que o raciocínio proporcional é um indicador de alfabetização científica, ou seja, este tipo de raciocínio, assim como o lógico, “demonstram ainda formas de organizar o pensamento indispensáveis quando se tem por premissa a construção de uma ideia lógica e objetiva para as relações que regulam o comportamento dos fenômenos naturais (SASSERON; CARVALHO, 2008, p. 338)”. Desse modo, o raciocínio proporcional concede ao indivíduo a compreensão de como as variáveis se

associam e são interdependentes, seja em situações cotidianas, como pensar no consumo exagerado de alimentos e a obesidade, ou nas situações escolares, como do estudo das relações estequiométricas.

Igualmente, Lourenço e Marcondes (2003), ponderam que, as relações proporcionais podem subsidiar os estudantes na construção de conhecimentos químicos, tanto nos aspectos macroscópicos, como em níveis atômicos e, em consequência disso, promoveram atividades, com alunos de 1ª série do Ensino Médio, que se preocupavam em oportunizar a aprendizagem do conceito de mol em relações com os aspectos quantitativos das reações químicas.

Nesse seguimento, as atividades foram iniciadas com uso de materiais que deveriam ser reunidos, medidos, em correspondência as suas massas, e com estes agrupamentos era possível fazer aproximações de massa e quantidade de materiais, por consequência e desenvolvimento da ideia de proporcionalidade. Na sequência, outras atividades previam a determinação do número de átomos e massa em outras amostras de materiais, por associação ao que haviam feito com os materiais palpáveis. Neste âmbito, estudaram os conceitos de mol, massa molar e molecular, traçando paralelos entre os aspectos macro e atômicos. Ao final, propiciaram outras atividades que problematizavam estas questões, focando, agora, nas relações entre componentes, ou seja, nas reações químicas, em que, a proporcionalidade foi discutida em termos de quantidade de partículas, massa e com a utilização da unidade mol (LOURENÇO; MARCONDES, 2003).

Em decorrência desta abordagem, as autoras concluíram, por meio da aplicação de avaliações e questões aplicadas posteriormente, que os estudantes puderam construir relações proporcionais, tanto em nível macroscópico, quanto sobre aspectos atômicos, nas quantidades de reagentes e produtos em uma reação química, ao invés da utilização de algoritmos (LOURENÇO; MARCONDES, 2003).

Ramful e Narod (2014), também discutem sobre a importância do conhecimento proporcional na aprendizagem da química, especialmente no que diz respeito às dimensões quantitativas das reações e apontam que, os aspectos proporcionais estão inseridos na química em níveis de complexidade diferenciados. Assim, por meio da análise de vários problemas que envolviam as relações quantitativas das reações químicas, mas especificamente, de sua estequiometria, propuseram um quadro de análise de problemas, com o objetivo de compreender de que forma a proporcionalidade está envolvida na solução de problemas de estequiometria.

As vistas disso, os autores argumentam que, variadas relações proporcionais podem ser exigidas no processo de resolução das problemáticas:

Diferentes tipos de situações de proporcionalidade podem ser gerados dependendo do tipo de quantidades em que os reagentes e produtos são especificados, o tipo de relacionamento dado, bem como os estados físicos (sólido, líquido ou gás) dos reagentes e produtos. As quantidades podem ser especificadas em termos de mol, volume, massa, percentagem, concentração ou uma combinação delas para formular situações problemáticas em cálculos estequiométricos. Os problemas de estequiometria podem também ser formulados de tal forma que, em vez de especificar a medida das quantidades individuais para reagentes e produtos, explicitamente em termos de medidas padrão, os parâmetros são dados em termos de relações entre dois reagentes ou entre um reagente e um produto expresso como razão, proporção ou percentagem (RAMFUL; NAROD, 2014, p. 28, tradução nossa)⁴⁷.

O quadro de análise, proposto pelos autores, foi composto pela investigação de problemas de estequiometria, em livros didáticos de química e avaliações (entre 1985 e 2010), especialmente o *Cambridge International Examinations*,⁴⁸ com foco nas relações proporcionais e nos conhecimentos que poderiam ser necessários para resolvê-los (RAMFUL; NAROD, 2014). Com base no processo de análise, os autores conseguiram identificar diferentes categorias de problemas, que envolviam cinco níveis de complexidade, do conhecimento proporcional, na estequiometria, em que,

- O nível 1 representa os problemas de um valor em falta, que utiliza o mesmo tipo de unidades, ou seja, tem-se, por exemplo, a quantidade de matéria de um componente e se pede para encontrar a quantidade de matéria de outro componente;
- No nível 2 as grandezas atreladas a proporcionalidade são prescritas em unidades diferentes, o que requer a mudança de variáveis. No entanto, consideram-se as propriedades extensivas, como massa e volume. Neste caso, pode-se pedir a massa de um componente mediante a quantidade de matéria de outro.

⁴⁷Citação original: Different types of proportionality situations can be generated depending on the type of quantities in which the reactants and products are specified, the type of relationship given as well as the physical states (solid, liquid, or gas) of the reactants and products. Quantities may be specified in terms of mole, volume, mass, percentage, concentration, or a combination there of to formulate problem situations in stoichiometric calculations. Stoichiometry problems may also be formulated in such a way that instead of specifying the measure of the individual quantities or reactants and products explicitly in terms of standard measures, parameters are given in terms of relationships between two reactants or between a reactant and a product expressed as ratio, proportion, or percentage.

⁴⁸ Criada pela universidade de Cambridge e oferece exames e qualificação, para a educação básica em mais de 160 países.

- No nível 3 a relação de proporcionalidade é dada em termos de propriedades intensivas, com uso, por exemplo, da massa molar, das concentrações, consequentemente, as variáveis dos níveis anteriores se correlacionam.
- Já no nível 4 os problemas envolvem reações químicas paralelas, com o uso de propriedades intensivas e extensivas, assim, são exigidas várias relações proporcionais. Neste quadro, é necessário que se encontre uma ou mais relações da reação intermediária, para que, por fim, com esta relação se estabeleça outra com a reação final.
- No último nível (5), que é o de problemas mais complexos, se exige a determinação de um elemento desconhecido, em um composto, utilizando a relação de proporcionalidade, ou ainda, a fórmula de um composto desconhecido.

Com isso, Ramful e Narod (2014) consideram que o número de passos (que pode variar de pessoa para pessoa na resolução) e a complexidade foram motivadores na escolha dos níveis e que a determinação destas categorias de exigência pode auxiliar na promoção de atividades e situações com diversas demandas cognitivas para os estudantes. Ainda discutem que as demandas cognitivas se acentuam não somente pelo acréscimo de passos, mas, essencialmente, pelo aumento do conhecimento conceitual exigido nestes problemas. O estudo revela, desta forma, não somente a importância da proporcionalidade, mas a explicitação de seu uso em problemas de química.

Apreciada como relevante na elaboração do campo conceitual da estequiometria, a proporcionalidade também foi alvo de nossa investigação. Buscamos elaborar situações das quais este conceito estivesse presente explicitamente e também implicitamente, e, por meio delas almejamos entender sobre o processo de conceitualização das relações proporcionais, e também como essas relações interferem na compreensão da estequiometria.

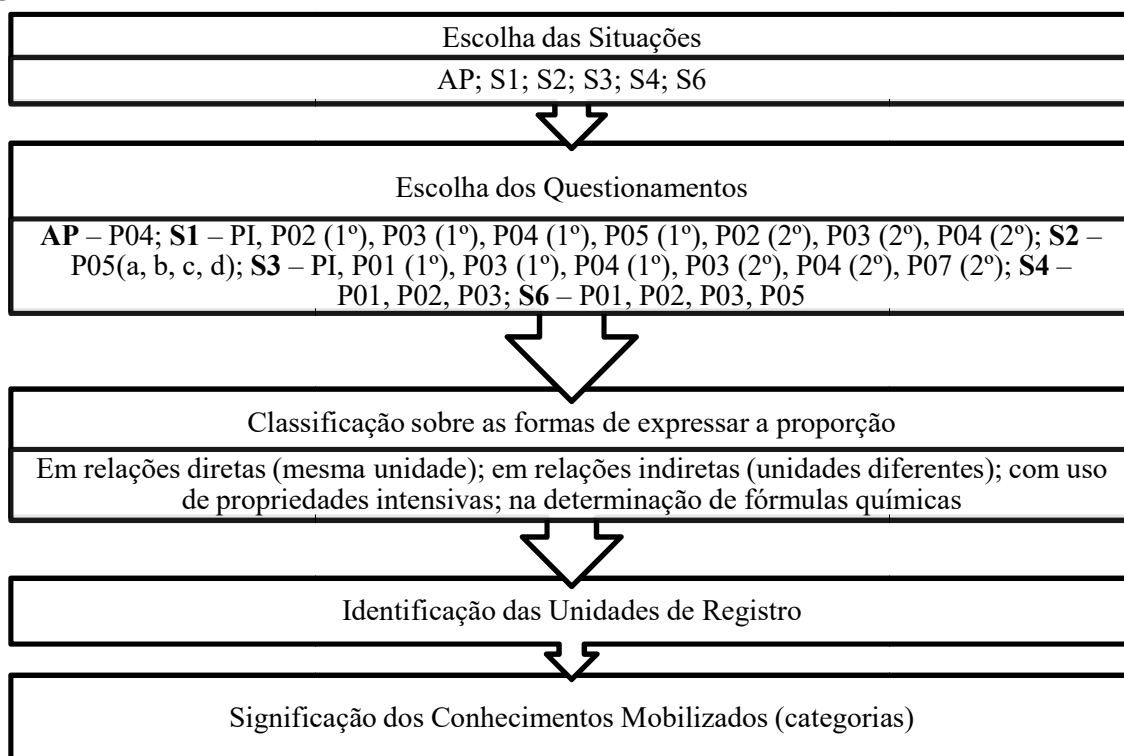
Em um primeiro momento a Situação 1, por nós elaborada, tinha o foco específico de análise das relações proporcionais, mas, no sentido de ampliar a compreensão do processo de conceitualização deste conceito, procuramos verificar se outras situações também o contemplavam. Como todas as situações e atividades tinham, evidentemente, correlações com a proporcionalidade, escolhemos aquelas que guardavam questionamentos mais diretos, e que, de alguma forma, trariam elementos diferenciados para as discussões.

Nesta perspectiva, selecionamos a Atividade Prévia (AP) e as Situações 1, 2, 3, 4 e 6 (S1, S2, S3, S4 e S6) e, baseados nos níveis de complexidade das relações proporcionais, com foco na estequiometria, estabelecidos por Ramful e Narod (2014), delimitamos classificações das diferentes formas de expressar este conceito, sendo elas, em relações diretas (com o uso

de mesma unidade), em relações indiretas (unidades diferentes), com uso de propriedades intensivas e na determinação de fórmulas químicas.

Por conseguinte, mediante as respostas dos estudantes aos questionamentos, procuramos identificar as unidades de registro e, posteriormente, compreender os significados e formular as categorias de análise, no caso, os conhecimentos mobilizados pelos estudantes nas situações que continham as relações proporcionais⁴⁹. Isto posto, o processo de escolha e análise do material empírico pode ser sintetizado na Figura 12.

Figura 12: Sistematização do processo de análise dos resultados para a proporção



Fonte: Autoria Própria.

Por meio da significação dos conhecimentos mobilizados, verificamos, também, a sua ocorrência, e apresentaremos na sequência estes dados, bem como, as discussões pertinentes.

4.2.1 As relações proporcionais diretas

Mesmo considerando, nesta primeira forma de expressar a proporcionalidade, as relações diretas que, aparentemente se mostram simples, Vergnaud (2014) salienta que, a noção de relação é extremamente geral e utilizada em qualquer âmbito por um indivíduo. Segundo o autor, “o conhecimento consiste, em grande parte, em estabelecer relações e

⁴⁹ Todo o processo de categorização, para a proporcionalidade, encontra-se no Apêndice I.

organizá-las em sistemas” (VERGNAUD, 2014, p. 23) e estas relações podem ser entre objetos, propriedades físicas e/ou químicas, entre pessoas, ou seja, sempre algo está em relação a alguma outra coisa. Neste contexto, Vergnaud (2014) classifica as relações em três tipos: binárias, terciárias e quaternárias.

As relações binárias são aquelas que guardam a ligação de dois elementos, por exemplo, “o ouro é amarelo”, “o ouro é um metal”, “o anel é de ouro” ou “o ouro é denso”. As relações ternárias são compreendidas pelo autor como as que ligam três elementos entre si, como, “o ouro é mais denso que a prata” e as relações quaternárias ligam quatro elementos entre si, como “o ouro é mais denso que a prata e menos denso que a platina”.

No âmbito da estequiometria, a proporcionalidade sempre está em relação às combinações quaternárias, pois, mesmo nos casos das relações diretas, é necessário que se associe as variáveis do problema posto (dados experimentais, por exemplo), às variáveis das relações padronizadas, como as massas molares, as quantidades de matéria em termos de partículas, em termos de proporção entre os componentes de uma reação, entre outros. Assim, mesmo as relações diretas revelam alta complexidade, para os indivíduos, no enfrentamento dos problemas de estequiometria.

Consideramos também relevante a apreciação das respostas dos estudantes quanto às relações diretas e, nesse sentido, selecionamos os questionamentos para a análise, contidos nas atividades e situações, que tratavam dessas relações. Para esta escolha, ponderamos sobre a forma mais simples a qual se poderia responder à problemática, mas que também poderiam ser explicitadas sobre outras formas, por exemplo, usando mudança de unidades nas relações. Para clarificar, no questionamento 04 da Situação 01 perguntamos: “Se o volume do ácido fosse dobrado, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Explique o valor indicado”. As respostas, examinando as relações diretas, poderiam ser dadas em termos de volumes, sem levar em consideração outras variáveis, como as massas, as quantidades de matéria.

Com isso, para esta primeira análise, consideramos os seguintes questionamentos: **S01 – P04: Se o volume do ácido fosse dobrado, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Explique o valor indicado.** **S01 – P03: Se o volume do ácido fosse dobrado, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Explique o valor indicado.** **S02 – P05(a): Que tipo de relação existe entre essas quantidades de reagentes e produtos?** **S02 – P05(b): Se a massa de bicarbonato usada fosse diferente a massa de dióxido de carbono desprendida seria de 44g?** **S02 – P05(c): Dê a razão entre a massa de**

bicarbonato de sódio e a de dióxido de carbono. S02 – P05(d): Considere a massa de bicarbonato medida no seu experimento para determinar a massa de dióxido de carbono resultante na reação. Faça o mesmo para os demais experimentos. S06 – P01: Considerando o ácido tartárico ($\text{HOOCCH(OH)CH(OH)COOH}$), que é um dos componentes do vinho branco, e o hidróxido de sódio (NaOH), explique qual a proporção em quantidade de matéria, existente entre essas duas substâncias em uma reação entre eles. S06 – P02: Você considera que a proporção seria a mesma se considerássemos suas massas ao invés da quantidade de matéria. Por quê?

Por meio da categorização das respostas dos estudantes, chegamos a 5 possíveis invariantes operatórios:

- **Existe relação proporcional e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis.** Neste caso os estudantes indicavam e traçavam as relações diretas necessárias para resolução ou justificativa da problemática;
- **Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis.** Para este, consideramos o uso de diferentes variáveis, em justificativas às problemáticas, assim os estudantes expressavam informações além do descrito;
- **Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas.** Para inferência deste invariante, consideramos as respostas que utilizavam de propriedades intensivas, apontadas, neste contexto, como necessárias pelos estudantes;
- **Existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida.** Neste caso ponderamos as respostas em que os estudantes mostravam necessidade ou certa dependência com a reação, que deveria estar explicitada, para responder à problemática;
- **Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial.** Por fim, consideramos que as relações eram estabelecidas, mas, em consequência de alguma relação circunstancial, ou seja, relações aleatórias criadas pelos estudantes em suas respostas.

Destarte, os invariantes operatórios mobilizados foram organizados no Quadro 23 e indicados segundo sua ocorrência. Assim, consideramos que grande parte dos estudantes conseguiu estabelecer relações diretas entre as variáveis apresentadas e, neste sentido, ponderamos que, o invariante operatório “existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis” foi mobilizado pelos estudantes em consequência das situações propostas.

Como as situações ressaltavam a proporcionalidade em termos de volume, massa, quantidade de matéria, entre outros, essas relações diretas também foram demonstradas pelos estudantes em suas respostas, assim como indicado nos excertos de 1D, 2D, 3D e 2B:

(Resposta para S01P04) “10,8 mL, pois se usarmos 5,4 mL para neutralizar 5 mL de ácido, logo, através da proporção que encontramos dobramos a quantidade de base” (1D)

(Resposta para S02P05(b)) “Não, mas a massa de gás desprendida seria proporcional à massa de bicarbonato utilizada” (2D)

(Resposta para S02P05(c)) $84/44 = 1,91 \cong 2$
“1 de NaHCO_3 (84g) produz quase metade (em massa) de CO_2 ” (3D)

(Resposta para S06P01) “ $4\text{NaOH} + 2\text{HOOCCH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{COOH} \rightarrow 5\text{H}_2\text{O} + 4\text{NaOOCCH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{COO}$
A proporção da reação é de 4:2. Ou seja, cada 4 mol de base reage com 2 de ácido” (2B)

Neste contexto, as primeiras considerações das relações proporcionais foram indicadas pelos estudantes. Inicialmente, o processo de conceitualização das relações proporcionais, que como, salienta Ramful e Narod (2014), nem sempre são explícitas, em termos de necessidades para os químicos, como a da conservação da matéria, por exemplo, advêm da necessidade de reconhecimento dessas relações pelos indivíduos nas situações. Nestes casos, a proporcionalidade foi evidenciada por meio das relações, não somente entre os volumes, massa, mas estas deveriam estar associadas aos aspectos químicos de proporcionalidade, como por exemplo, as relações entre as quantidades dos componentes. Então, quando mencionavam que, se utilizaram 5 mL de um reagente e 5 mL de outro (como na explicação de 1D), ou seja, a proporção deveria ser 1:1, então ao dobrar o volume de um, o outro também dobraria, proporcionalmente.

Mesmo em alguns casos, como na resposta de 2D, em que não tínhamos massas definidas, vários alunos salientaram que, as massas de gás carbônico formadas deveriam ser sempre proporcionais as massas de reagentes utilizados, o que contribui na afirmação de que, sob vários aspectos, as relações proporcionais diretas foram consideradas. Tanto no caso dos volumes, quanto no caso das massas, era necessário pensar que estas relações eram dadas em termos de reações, assim, as mudanças deveriam ser proporcionais, mas resguardando as condições da reação química.

Quadro 23: Invariantes operatórios mobilizados para proporções em relações diretas (mesma unidade)

Invariantes operatórios	S01 – 04	S01 – 03	S02 – 05(a)	S02 – 05(b)	S02 – 05(c)	S02 – 05(d)	S06 – 01	S06 – 02	Total
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 2J, 3A, 3B, 4B, 5A, 5D	1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 3C, 2D, 2E, 2F, 2H, 2J, 4A, 4B, 5A, 5B, 5D	1B, 1E, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3B, 3C, 3D, 3E	1A, 1E, 1I, 2A, 2C, 2D, 2E, 2F, 2H, 2J, 3A, 3B, 3C, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5D	1B, 1E, 1I, 2A, 2C, 2D, 2E, 2F, 2H, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1A, 1B, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3B, 3C, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D	1E, 2B, 2D, 3B, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B	2E, 3B, 3D, 4C, 4D	118
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	3C, 4A, 4E, 5B	3A, 4E	1A, 3A, 3C, 3D, 5A, 5B, 5C	3D, 5B	1A, 2J	1I, 2A, 2J, 3D, 5C		1E, 2C, 2G, 3C	26
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas								1I, 2F, 4A, 4E	4
Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	4C, 4D, 5C	2B, 2G, 3B, 4C, 4D	1I, 2A	2B, 2G, 5C	4B		1A, 1B, 1C, 2C, 2F, 3C, 4B, 5C, 5D	1A, 1B, 1C, 2B, 2D, 3A, 4B, 5B, 5C, 5D	33
Existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida	1A	1A	2G, 4B, 5D						5

Fonte: Autoria Própria.

Os sentidos mais simples das relações proporcionais são, assim, de extrema relevância para que exista o processo de conceitualização das relações proporcionais, na aprendizagem da química. Alguns estudos enfatizam (LOURENÇO; MARCONDES, 2003; LIMA; BELLO, 2015) a necessidade em iniciar os estudos, sobre reações químicas, considerando aspectos relacionais mais diretos e palpáveis, para que os estudantes percebam que, acima de tudo, uma relação proporcional deve ser compreendida e mencionada tanto em termos observáveis, como, em sua transposição para as relações proporcionais entre as partículas.

Quanto à resposta apresentada pelo estudante 2B, a relação proporcional entre o ácido e a base, em termos de quantidade de matéria foi estabelecida, coerentemente, no entanto, esta associação, quando ponderados os produtos, não estava tão clara, quanto no caso dos reagentes, assim apontou a formação de 5 unidades de quantidade de matéria para a água, que neste caso não interferia diretamente na resolução da problemática.

Em contrapartida, o invariante operatório “existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial”, também foi mobilizado em decorrência de algumas relações que foram estabelecidas pelos estudantes, mas que, não apresentavam coerência do ponto de vista químico ou matemático. Neste âmbito, os alunos expressavam as relações entre as variáveis, mas, elas dependiam de outros fatores, que não os das próprias reações, como por exemplo, as condições experimentais, suprimindo a ideia que as relações proporcionais entre os componentes devem ser mantidas, independente da condição. Isto pode ser evidenciado nas respostas dos estudantes 4C, 3B, 5C, 1C, 5D, 1B:

(Resposta para S01P04) *“É necessário a metade pois a quantidade de matéria diminui se o volume aumenta. Logo apenas a metade neutraliza quantidade de matéria da base” (4C)*

(Resposta para S01P03) *“Se fosse dobrado, seria necessário a metade da quantidade de B \cong 5mL” (3B)*

(Resposta para S06P01) *“Como foi adicionado 20 mL de vinho, considerando 20 mL do ácido, e para neutralizar foi usado cerca de 10 mL (13,1 mL e 13,4mL) então podemos dizer que a proporção é de 2 ácidos para 1 NaOH” (1C)*

(Resposta para S02P05(b)) *“Não, porque quando mudamos a massa do NaHCO₃ a proporção muda, logo a massa de dióxido poderá ser maior ou menor, depende da quantidade de massa do NaHCO₃” (5C)*

(Resposta para S06P02) *“Sim, pois ao transformar mol em massa a proporção se mantém” (1B)*

(Resposta para S06P01) *“C₄H₆O₆ + NaOH \rightarrow C₄H₅O₆⁻Na⁺ + H₂O A proporção é 1:1, pois ao montar a reação podemos perceber que é*

necessário um mol do ácido e um mol da base para se formar um mol do sal e um mol da água” (5D)

Nas duas primeiras respostas, as relações proporcionais estavam equivocadas do ponto de vista do que era pedido na situação, pois, nas proposições se admitia que as concentrações dos componentes da reação fossem as mesmas e, neste caso, deveriam associar somente a mudança dos volumes, ou seja, considerar que se um aumenta, o outro também aumentaria proporcionalmente. No entanto, alguns estudantes, como 4C e 3B não ponderaram sobre a constância das concentrações, o que os levou estabelecer outras relações proporcionais, como o aumento de volume da água na solução inicial, portanto a diminuição da quantidade de unidades de ácido em termos de volume total (diminuição da concentração), o que de fato necessitaria da metade do volume de base inicial. Nessa perspectiva, as relações proporcionais foram estabelecidas, mas seria necessário que, as condições, para as relações proporcionais, fossem avaliadas.

Em alguns casos, este conhecimento foi expresso, como no caso de 1C, quando ponderaram sobre as equações e concentrações, em que o estudante conseguiu estabelecer uma relação proporcional entre os volumes, que, sob o seu ponto de vista, desvelaria a proporção entre os componentes. Evidente, para este estudante que, se foi utilizado 20mL de vinho, e que no vinho se tem a presença do ácido, e que foi consumido 10mL da base, na neutralização do ácido, poderia se considerar que a relação proporcional de ácido para base seria de 2:1. Neste contexto, no processo de conceitualização das relações proporcionais, nas reações químicas, nem sempre os estudantes conseguem perceber que uma condição não é determinante para outras relações. Para eles o estabelecimento das relações proporcionais diretas não foi o fator complicador e sim, reconhecer e refletir sobre os fatores conceituais envolvidas em cada situação, como também demonstrado por 5D, ao interpretar que o ácido contido no vinho era monoprótico ao invés de diprótico.

Já alguns alunos, como 5C, expressaram que as proporções em massa mudam durante o processo, caso seja modificada a massa de algum dos componentes, então compreendemos que o invariante operatório “existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial” também foi mobilizado nestes casos. Percebe-se que neste contexto, os estudantes puderam estabelecer condições de aumento e diminuição, ou seja, a dependência de um componente em relação a outro, no entanto afirmaram que a proporção varia durante o processo. Já para outros estudantes, como 1B, a proporção em quantidade de matéria em termos de massa seria a mesma, nas reações, assim, expressam que as relações proporcionais devem ser mantidas,

mas não demonstram compreender que cada variável apresenta uma relação proporcional diferente.

Para os invariantes operatórios “existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis” e “existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas”, alguns estudantes foram capazes de expressar e estabelecer relações proporcionais em termos de outras variáveis, condizentes com níveis mais elaborados de relações proporcionais, segundo a categorização de Ramful e Narod (2014), como indicado nas respostas de 5B, 3A, 3D, 5B, 1A e 4E.

(Resposta para S01P04) “Se o volume de ácido fosse dobrado seria esperado que o volume de base fosse dobrado também, pois ao dobrar o volume do ácido, dobra-se os hidrogênios ácidos e o mesmo ocorre para os grupos hidróxidos” (5B)

(Resposta para S01P03) “Se o volume do ácido fosse dobrado, seria necessário o dobro da base para neutralizar, porque a quantidade de ácido presente no recipiente é maior. $1C + 2B$ reação inicial $2C + 4B$ ” (3A)

(Resposta para S02P05(b)) “Depende. Teoricamente se adicionado um excesso de NaHCO_3 e o equivalente a 1 mol de CH_3COOH (60g), será produzido 44g de CO_2 . Porém se adicionado menos 84g de NaHCO_3 , a massa de CO_2 será menor que 44g” (3D)

(Resposta para S02P05(b)) “Não, manteria-se a proporção de aproximadamente 50% da massa ou, em termos de mol de 1:1” (5B)

(Resposta para S02P05(c)) “A relação na reação é de 1 mol para 1 mol A relação de massa de CO_2 para o bicarbonato de sódio é de 52,24% da massa” (1A)

(Resposta para S06P02) “Não seria a mesma, porque a massa molar do ácido tartárico é 150g/mol e a massa molar de NaOH é 40g/mol, logo, a massa do ácido tartárico é quase 4x maior que a do hidróxido de sódio então não seria a mesma proporção” (4E)

A maioria dos estudantes, que expressou o invariante operatório “existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis”, se referiu à unidade de quantidade de matéria (mol), como exemplificado nas respostas de 3D, 5B, 1A, considerando a associação desta unidade com as massas dos componentes da reação. Deste modo, mencionaram a constância das relações proporcionais, tanto entre massas, quanto na regularidade desta proporcionalidade em virtude de sua relação com a quantidade de matéria. Em outros exemplos, como de 5B e 3A, os estudantes expressaram este invariante operatório ao considerar os grupamentos ou componentes envolvidos nas reações.

Explicitaram então que se “*dobra-se os hidrogênios ácidos e o mesmo ocorre para os grupos hidróxidos*”, ou ainda em termos de reações, como em “ $1C + 2B$ reação inicial $2C + 4B$ ”.

Já o estudante 4E utiliza-se da massa molar para justificar que a proporção em massa não é a mesma que em quantidade de matéria, mobilizando o invariante operatório “existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas”. Diante disso, as expressões sobre o uso de relações entre diferentes variáveis e entre propriedades intensivas, sugerem que no processo de conceitualização das relações proporcionais, os estudantes iniciam buscando variáveis comuns na resolução dos problemas, no entanto, conhecimentos mais profundos e complexos são acrescentados e usados em suas justificativas. Neste contexto compreendemos que, só é possível o uso destas relações mais complexas quando os conhecimentos se encontram interligados, caso contrário, somente as relações explícitas nos problemas seriam apresentadas.

Refletindo, desta forma, os aspectos cognitivos da proporcionalidade e sua importância, seja no contexto da química e de seu ensino, ou mesmo em outras esferas, Obando, Vasco e Arboleda (2014) consideram que, em linhas gerais, o conhecimento proporcional, permite, aos indivíduos, o reconhecimento dos padrões de variação, ligados por princípios que possuem alguma ligação, assim, as ideias de coordenação, compensação, conservação, entre outros, são favorecidas pelo desenvolvimento do raciocínio proporcional.

Outro invariante operatório foi sinalizado em justificativas a estas primeiras relações: “existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida”. Em dois questionamentos diferentes o estudante 1A referiu-se à dependência do conhecimento da reação para que as relações proporcionais fossem estipuladas, como exemplificado na sequência:

(Resposta para S01P03) “*Depende da relação proporcional entre o ácido e a base, obtido pelo balanceamento da reação entre os mesmos*” (1A)

Para este estudante só seria possível o conhecimento das relações proporcionais se a reação estivesse posta. Logo existiu certa necessidade, desta forma de representação, sem a qual, as relações proporcionais não poderiam ser estipuladas. Nesse sentido, Gilbert e Cheng (2009) afirmam que os significados são atribuídos aos símbolos e também às representações se os estudantes forem capazes de integrar os conhecimentos simbólicos aos aspectos macro e molecular. Para o estudante 1A (assim como para outros, em outras situações) o aspecto simbólico pode sobressair aos aspectos macroscópicos e moleculares, como por exemplo, as relações em massa, o que torna inviável refletir sobre outras instâncias dessas relações.

4.2.2 As relações proporcionais indiretas (unidades diferentes)

Também consideramos, nesta investigação, compreender como os estudantes conceitualizavam as relações proporcionais em que era necessário refletir sobre diferentes variáveis. Para isso selecionamos todas as situações as quais entendemos haver a necessidade em se trabalhar com diferentes variáveis para que a problemática fosse resolvida. Dessa forma, tiveram que proceder com cálculo percentual, em relação às massas em gramas, com a determinação de quantidade de partículas fundados nas massas atômicas, entre outros.

Mediante a preocupação em se compreender esse processo, selecionamos os seguintes questionamentos para análise: **S01 – P02: Por que você acha que foi necessário este volume para neutralizar a quantidade inicial de ácido? S01 – P03: Se um outro ácido fosse usado, seria necessária a mesma quantidade da base B? Por quê? S01 – P02: Por que você acha que foi necessário este volume para neutralizar a quantidade inicial de ácido? S03 – P03: Determinar a proporção percentual, em relação às massas, do sal e da água no sal hidratado. Explique, por favor, como os cálculos foram realizados por você. S03 – P04: A proporção determinada anteriormente (item 3) seria diferente se no experimento fossem usadas massas diferentes de sal hidratado? Como se pode justificar isso? S03 – P03: Admitindo que a massa de um grão de feijão equivale a 10 u. i. (unidade inventada), calcule a massa de um grão de lentilha, de um grão de milho e de um grão de arroz utilizando a mesma unidade. S03 – P04: Admitindo que a massa média de um grão de feijão seja 0,3g e que um pacote desses grãos possui 1 kg (1000g), quantas unidades de feijão, aproximadamente, possui o pacote? S04 – P01: Admitindo que as partículas que constituem o ácido clorídrico sejam formadas pela união de um átomo de hidrogênio com um átomo de cloro, podendo, assim, ser representadas por HCl, e sabendo que um 1,0g de gás hidrogênio interage com 35,5g de gás cloro para formar 36,5g de ácido clorídrico, qual a massa atômica de cloro em relação ao hidrogênio? Explique seu raciocínio. S04 – P02: Baseado na tabela de Dalton, em que é tomado o hidrogênio como padrão de massa, quantas vezes a massa do átomo de ferro é maior que a massa do átomo de enxofre? Como chegou a esta conclusão?**

Com a análise desses questionamentos chegamos a 4 possíveis invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes, que foram organizados no Quadro 24 de acordo com a sua ocorrência, e que também haviam sido inferidos para a análise das relações proporcionais diretas: **existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências**

entre as mesmas variáveis; existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis; existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas; existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial.

O primeiro invariante operatório mobilizado pelos estudantes, apresentado para esta discussão, faz menção as relações diretas que foram evidenciadas pelos estudantes, mesmo em questionamentos que tinham necessidade de diálogos entre variáveis diversificadas. Destarte, os estudantes apresentaram o invariante operatório “existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis” mobilizado em um total de 32 vezes durante a resolução das problemáticas, como exemplificado nas respostas dos estudantes 1D, 1B, 4C, 4E.

(Resposta para S01P02) *“Pois 5,4 mL diz respeito a quantidade mínima, referente a 5 mL de ácido neutralizado. Ou seja 5,4 mL está para 5 mL de ácido” (1D)*

(Resposta para S01P03) *“Não, pois poderia haver uma nova proporção entre este novo ácido e a base” (1B)*

(Resposta para S01P02) *“Analisando que foi necessário o dobro de base para ácido. Tem-se que a proporção é 1:2 na reação” (4C)*

(Resposta para S03P03) *“A cada 3g de sal hidratado, 1g aproximadamente é de água” (1B)*

(Resposta para S04P01) $1/2 H_2(g) + 1/2 Cl_2(g) \rightarrow HCl$
1g 35,5

Para que ocorra a formação de 36,5g de ácido clorídrico é necessário 1g de H_2 e de 1g de Cl_2 . Eu parti da reação de formação do HCl balanceada e relacionei massa do reagente (Cl_2) com massa do produto (HCl)”(4E)

Quadro 24: Invariantes operatórios mobilizados para proporção em relações indiretas (unidades diferentes)

Invariantes operatórios	S01 – 02	S01 – 03	S01 – 02	S03 – 03	S03 – 04	S03 – 03	S03 – 04	S04 – 01	S04 – 02	Total
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1B, 1D, 1I, 2C, 2D, 2H, 3A, 3B, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5D	1B, 2D, 3C	1B, 1D, 1E, 1I, 2D, 2G, 3A, 4A, 4C, 4D, 4E, 5D	1B				4D, 4E		32
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1A, 2A, 2B, 5B, 5C	1C, 2A, 4E, 5B	1A, 3C, 5A	1C, 1D, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 2J, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1C, 1D, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 2J, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2C, 2D, 2H, 3A, 3C, 4A, 4B, 4D, 5A, 5B, 5C, 5D	1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2D, 2F, 2G, 2J, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4B, 5A, 5B	1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2C, 2F, 2G, 2H, 2J, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4E, 5A, 5B	129
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas	1C, 3C	2F, 2G, 3A, 4A, 4D, 5A	5B							9
Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial		1D, 1E, 1I, 2B, 2C, 2E, 2H, 3B, 4B, 5D	1C, 2A, 2B, 2C, 2F, 2H, 3B, 4B, 5C		1B	2F, 3B, 3D	2J, 3B	2C, 2H, 4C	2B, 2D, 4D	31

Fonte: Autoria Própria.

Vergnaud (2007a) considera que o ato de conceitualizar compreende o reconhecimento dos objetos, materiais ou não, com suas propriedades, relações e transformações. Também pondera que a conceitualização demanda a utilização de conhecimentos que vão se ampliando (ou se rompendo), na medida em que nos deparamos com situações que exijam outros níveis conceituais (VERGNAUD, 1990). Neste âmbito, ao explicitar o conhecimento referido, às relações diretas, percebe-se que os estudantes conseguem, inicialmente, estabelecer algumas relações proporcionais, como por exemplo, nas correspondências entre volumes, indicadas pelo estudante 1D, 1B e 4C. Nestes três casos, era necessário que os estudantes justificassem o uso dos volumes experimentais, no entanto, suas respostas não forneceram elementos que indicassem a compreensão da relação proporcional em termos de quantidade de matéria, proporção entre os constituintes ou mesmo sobre a dependência das características químicas para que a reação ocorresse em uma ou outra proporção, o que seria necessário para que o conhecimento das relações indiretas fosse estabelecido.

Em outros casos, como nas respostas de 1B e 4E, os estudantes indicaram relações proporcionais, em massa, mas para respostas em S03P03 esperávamos uma definição percentual em massa e em S04P01 tínhamos a expectativa que os estudantes estabelecessem comparações em massa, no sentido de demonstrar o entendimento da necessidade de padrões para a determinação de massas atômicas (de uma partícula), assim, compreendemos que os estudantes ainda não explicitaram relações mais complexas, mesmo quando indicaram a reação química para justificativa, como no caso do estudante 4E. Não é claro se as relações são em termos de comparação entre as massas atômicas de hidrogênio e cloro ou se foram feitas comparações somente em termos de massas empíricas, dessa forma, ponderamos que estes estudantes referiam-se as relações diretas entre as variáveis.

O invariante operatório “existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis” também foi apresentado pelos estudantes num total de 129 vezes durante as situações escolhidas para análise. Este invariante operatório refere-se às relações mínimas exigidas nas explicações dos questionamentos propostos nas situações e estão exemplificados mediante respostas dos alunos 2A, 3A, 5B e 3C.

(Resposta para S01P02) *“A quantidade de OH⁻ tem que ser proporcional a quantidade de H⁺, sendo assim foi essa a quantidade de base utilizada para consumir a quantidade de ácido e neutralizando a solução” (2A)*

(Resposta para S03P03)
$$\frac{3,07g - 100\%}{1,98g - x} \qquad \frac{3,07g - 100\%}{1,09 - x}$$

$x = 64,49\%$ $x = 35,5$
de sal na amostra de água na amostra” (3A)

(Resposta para S03P04) “1 grão – 0,3g
 $x - 1000g$ $x = 3333,33$ grãos aproximadamente” (3A)

(Resposta para S04P01) “Se a massa do gás hidrogênio é 1g, e a do gás cloro é 35,5g, a massa atômica do cloro em relação ao hidrogênio seria 35,5 vezes maior, pois 1g do gás hidrogênio reage com 35,5g do gás cloro e a relação é colocada é de 1 hidrogênio para 1 cloro” (5B)

(Resposta para S04P02) “Utilizando o hidrogênio como padrão tem-se que a massa do ferro é 50 e a do enxofre 13, fazendo a razão entre as duas é possível determinar que o ferro é 3,85 vezes maior que o enxofre” (3C)

Neste segundo nível de complexidade, os estudantes deveriam estabelecer relações proporcionais entre variáveis diferentes, e ponderando sobre a Situação 1, alguns expressaram que o volume experimental podia ser explicado pelo fato das quantidades de OH^- serem proporcionais as quantidades de H^+ . Logo, consideramos que, para se pensar na neutralização, ou seja, na reação química entre estas duas espécies e nos volumes experimentais, era necessário ponderar a relação proporcional entre estas espécies e, dessa forma, quanto mais solução básica era acrescentada, maior o volume, e maior a quantidade de espécies básicas presentes, conseqüentemente, menor a quantidade de espécies ácidas, até o ponto em que elas estivessem equivalentes. Existe então uma relação proporcional entre diferentes variáveis: volume e quantidade de espécies, assim mobilizaram o conhecimento “existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis”.

Na Situação 3, em que pedimos algumas determinações, por meio de cálculos, também inferimos o uso das relações proporcionais indiretas, pois indicaram as associações entre massas experimentais e seus percentuais, bem como, relações entre o número de grãos e massa, como expresso pelo estudante 3A. Nestas situações em que pedíamos para que realizassem as determinações, notamos que os estudantes tiveram mais facilidade em explicitar este conhecimento, que nos questionamentos que necessitavam justificativas e explicações.

Apesar de considerar que os símbolos e representações são uma boa forma de explicitar os conhecimentos dos indivíduos (VERGNAUD, 1998), Vergnaud (1982) também considera que, os sentidos não estão somente nos símbolos e sim na relação entre a situação, os sujeitos e os símbolos. Neste contexto, percebe-se que o estabelecimento de relações conceituais, focadas em aspectos químicos, pode ser mais complexo, para os estudantes, que o estabelecimento de relações proporcionais que enfatizam aspectos matemáticos relacionais,

$$\begin{array}{ll}
 x = 29/10 = 2,9 & x = 1,4 \\
 2,9 \cdot 10 \text{ u.i.} = 29 \text{ u.i.} & 1,4 \cdot 10 \text{ u.i.} = 14 \text{ u.i.} \\
 (2F) &
 \end{array}$$

(Resposta para S04P01) “Sabendo que a massa atômica corresponde à uma unidade de átomo e que o gás hidrogênio é composto por duas dessas unidades, tem-se:

$$\begin{array}{l}
 1 \text{ u.a.} - 0,5\text{g de } H_2 \\
 x \text{ u.a.} - 35,5\text{g } Cl_2 \rightarrow x = 71Cl
 \end{array}$$

Ou seja, uma unidade atômica terá a metade da massa (em gramas) de H_2 ou 1g estará para 2 unidades de massa atômica. Dessa forma tem-se que a massa do átomo de cloro é 71 vezes maior que a de um átomo de hidrogênio” (4C)

(Resposta para S04P02) “Utilizando o hidrogênio como padrão de massa, têm-se que o ferro possui uma massa 37 vezes maior que a massa do enxofre. Se a massa do ferro é 50 vezes maior que a massa do hidrogênio e o enxofre 13 vezes a massa do hidrogênio, a diferença entre a massa do ferro para a massa do enxofre será 37 vezes” (2D)

Em todas as respostas para estes questionamentos, notamos que os estudantes foram capazes de estabelecer algum tipo de relação proporcional, no entanto, algumas considerações circunstanciais foram apresentadas pelos estudantes em suas justificativas. O estudante 2B explicitou que, o volume de base é dependente do ácido, ponderando sobre a força do ácido usado. Neste argumento, o estudante raciocina sobre a necessidade em utilizar mais da base caso o ácido seja fraco e em outros casos, os estudantes se referiram sobre a necessidade em usar mais da base caso o ácido fosse forte. Em ambos os casos, trabalhamos com ácidos e bases nas mesmas concentrações, o que de fato deveria ser considerado na construção de relações proporcionais, pois, nestes contextos, independente da força dos ácidos e bases usados, os volumes são proporcionais ao tipo de reação.

Já para o estudante 1B, a relação proporcional pode variar, uma vez que, para ele, a quantidade de água pode ser diferente no sal hidratado. Nessa lógica, o aluno considera que, as moléculas de água não fazem parte de uma estrutura já definida (no caso $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) e sim que a água pode ser um reagente ou um solvente que se encontra junto ao sal, o que poderia tornar sua proporção percentual variável.

Nos questionamentos sobre as determinações de padrão de massa (Situações 3 e 4), o invariante operatório “existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial” também foi mobilizado pelos estudantes. Em algumas conjunturas, nestas situações, pedimos que realizassem comparações entre os padrões estipulados e os novos materiais ou elementos (feijões com milho, lentilha e entre hidrogênio, cloro, ferro e enxofre). Com isso, os estudantes foram capazes de estabelecer uma série de relações proporcionais, mas que,

demonstram algumas dificuldades do ponto de vista conceitual. O estudante 2F iniciou tratando das relações entre o número de grãos correspondentes ao feijão, considerando o uso de relações diretas entre unidades. Na sequência, tentou estabelecer a massa final, da lentilha e milho, em termos do padrão de massa estabelecido com o feijão. Assim como o estudante 3D, estipulou que a massa final deveria ser a multiplicação da massa de um grão de feijão (10u.i.) pela razão entre o número de grãos de lentilha e feijão, encontrando, por exemplo, que a massa de um grão de lentilha, ou de arroz, era maior que a do feijão.

Com relação à proporcionalidade entre massas dos elementos químicos, algumas constatações em termos de dificuldade em reconhecer os padrões de proporcionalidade também explicitaram a ideia de suas condições circunstanciais. Para o estudante 4C, foi importante considerar a molécula diatômica do hidrogênio, à qual sua massa seria dividida (se $H_2 = 1$ então para cada $H = 0,5$), no entanto, apesar de também ponderar o cloro diatômico, não estabelece que a massa final atômica seja também proporcional a 2 átomos de cloro, então encontra que *“massa do átomo de cloro é 71 vezes maior que a de um átomo de hidrogênio”*.

Para o estudante 2D, a relação é dada em termos da massa padrão de hidrogênio e essa relação é feita em termos dos elementos pedidos (enxofre e ferro), no entanto, a comparação em termos de proporções entre estes dois elementos é estabelecida pela diferença entre suas massas (o mesmo indicado pelo estudante 2B), assim, *“o ferro possui uma massa 37 vezes maior que a massa do enxofre”*.

Nesse sentido, em alguns desses casos, os invariantes operatórios foram expressos em termos de dificuldades com questões conceituais em química, como nos exemplos de respostas de 2B, 1B e 4C. Em outros contextos, este invariante operatório se pronunciou devido a problemas relacionais que envolviam a compreensão da proporcionalidade em termos numéricos, como demonstrado pelos estudantes 2F e 2D.

Tanto em um âmbito como em outro, o invariante operatório foi mobilizado devido à dificuldade em integrar conhecimento químico às relações proporcionais em termos numéricos, ou seja, hora os alunos reconheciam as relações em termos químicos e não transpunham em termos numéricos, ou reconheciam contextos numéricos, mas não os químicos.

4.2.3 As relações proporcionais com uso de propriedades intensivas

Evidenciando a classificação dos níveis de proporcionalidade, delimitados por Ramful e Narod (2014), também nos preocupamos em compreender como os alunos conceitualizavam

as questões proporcionais que envolviam algumas propriedades intensivas. Com isso, selecionamos nas situações (S01, S03 e S06), os questionamentos que envolviam tal nível e, em decorrência desta escolha, as relações proporcionais em termos de concentrações e massas molares foram reveladas nos questionamentos: **S01 – PI: Considere que os ácidos e bases disponíveis possuam a mesma concentração. Como é possível determinar a proporção na reação entre eles?** **S01 – 05: Se a concentração da base fosse dobrada, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Como justifica esse valor?** **S01 – 04: Se a concentração da base fosse dobrada, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Como justifica esse valor?** **S03 – PI: Como é possível determinar a proporção de elementos em uma substância, como, por exemplo, na molécula de H₂O?** **S03 – 01: Como é possível determinar a quantidade em matéria do sal e da água no sal hidratado?** **S06 – 03: Explique como é possível determinar a massa de ácido tartárico contido na amostra de vinho (20mL).** **S06 – 05: Supondo que a massa do exercício 4 tenha sido determinada, como seria possível encontrar a quantidade dos íons que compõem o sal presentes na solução antes da evaporação?**

Diante das respostas apresentadas, inferimos os invariantes operatórios pelos estudantes, considerando o nível de complexidade ao qual respondiam aos questionamentos propostos. Com isso verificamos a presença de 5 formas de expressar estes conhecimentos (assim como os apresentados nas relações de mesmas unidades): **existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis; existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis; existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas; existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida; existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial.** Os invariantes operatórios foram organizados no Quadro 25 de acordo com a sua ocorrência.

Quadro 25: Invariantes operatórios mobilizados para proporção com uso de propriedades intensivas

Invariantes operatórios	S01 – PI	S01 – 05	S01 – 04	S03 – PI	S03 – 01	S06 – 03	S06 – 05	Total
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1B, 1C, 1E, 2A, 2B, 2C, 2E, 2H, 4B, 5C	1A, 1E, 2G, 4C	1B, 1I, 3C, 4E	2D, 3C, 5C	1B, 1C, 1D, 2A, 2F, 3A, 3B, 3C, 4E, 5A, 5B, 5C		1A, 2D	35
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis				1C, 2F, 2H, 3A	3D	2A, 4B, 5D	5D	9
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas	3B, 3C, 4D, 5A, 5D	1B, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4D, 4E, 5B, 5D	1D, 2A, 2C, 2D, 2E, 2J, 3A, 4A, 4B, 4D, 5A, 5B, 5C, 5D	1D, 4A, 4D, 4E, 5D	2B, 2C, 2D, 2E, 2J, 4A, 4B, 4D, 5D	1A, 1B, 2D, 2F, 3B, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B	3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5B	68
Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial		1C, 2E, 2J, 5A, 5C	1C, 1E, 2F, 2G, 3B, 4C			1C, 1E, 2B, 2C, 2E, 3A, 3C, 5C	2C	20
Existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida	1A, 1D, 2D, 2F, 2J, 3A, 4C, 4E, 5B		1A	1B, 2A, 2B, 2E, 3B, 5A			3C	17

Fonte: Autoria Própria.

As relações proporcionais, com uso das propriedades intensivas envolvem o terceiro nível de complexidade estipulado por Ramful e Narod (2014). Verificamos que para este nível os estudantes apresentaram os invariantes operatórios mais diluídos nas categorias inferidas, que nas outras duas formas de análise (mesmas unidades e unidades diversificadas), mesmo quando tratamos das mesmas situações que as anteriores. Nas primeiras formas de apresentar seus conhecimentos, alguns estudantes responderam a algumas problemáticas estabelecendo relações proporcionais diretas, mesmo que, os conceitos de concentração e/ou massa molar necessitassem de explicitação, como exemplificado nas respostas de 1B, 2D, 1C e 2D:

(Resposta para S01PI) *“Testando uma quantidade X, para um quantidade X e ir dobrando ou dividindo essa quantidade até encontrar quando eles se “anularam” e assim encontrar a proporção” (1B)*

(Resposta para S03PI) *“Pensando na água isso pode ser feito através da medição do volumes dos gases que a compõe, por meio de eletrólise obtendo o dobro do volume de hidrogênio para um volume de oxigênio” (2D)*

(Resposta para S03P1) *“Secando o sal no cadinho e vendo a diferença de massa” (1C)*

(Resposta para S06P05) *“Levando-se em consideração a reação e a formação do sal $\text{NaOOCCH(OH)CH(OH)COONa}$, deduz-se que quando dissolvido em água haverá a formação de 1 íon $\text{OOCCH(OH)CH(OH)COO}^-$ (aq) e 2 íons Na^+ (aq). Dessa forma, supondo que se tenha 1 mol do sal, após a dissociação haverá a formação de 1 mol do ânion e 2 mol do cátion” (2D)*

Para a Situação 1 os estudantes deveriam refletir sobre a forma em que se pode determinar a proporção entre um ácido e uma base e, com isso, partimos da relação de concentração. Diferentemente dos questionamentos da Situação 1, em que já se havia considerado a constância da concentração, neste caso, deveria se partir dessa premissa e com ela refletir sobre os processos pelos quais a proporção seria estabelecida. Desse modo, o estudante 1B se referiu a possíveis testes que poderiam ser feitos, em que diferentes quantidades, que não foram estipuladas em termos de variáveis. Quando indicou *“testando uma quantidade X”* compreendemos que se referia a volumes ou massas dos reagentes que seriam usados até que a reação se completasse.

Ao responder sobre a possível forma de determinação da proporção de elementos, em fórmulas químicas, alguns estudantes também expressaram relações diretas que poderiam fornecer as proporções pedidas, assim como exemplificado nas respostas de 2D e 1C. Para estes estudantes, as relações proporcionais em volume e massa são adequadas para que sejam definas as correlações entre os elementos químicos.

Consideramos que para estes questionamentos, somente as massas ou volumes são insuficientes na determinação da proporção entre elementos, pois, existe uma dependência dessas variáveis em termos de quantidades de partículas envolvidas em uma reação. Porém, quando tratamos do volume de gases, é coerente afirmar que existe uma proporção entre os volumes desses componentes gasosos em uma reação, uma vez que se admite que, nas mesmas condições de temperatura e pressão o número de partículas é proporcional ao volume de qualquer gás. Apesar de esta relação ser possível, na resposta de 2D, não existem referências quanto ao número de partículas, apenas a relação volumétrica. O mesmo pode ser refletido em relação à resposta do aluno 1C. A consideração sobre as diferenças de massas seria a relação inicial, no entanto, a proporção quanto ao número de partículas exigiria ponderações entre o número de partículas nestas massas, o que pode ser determinado mediante massa molar.

Em outros momentos, os alunos também mobilizaram invariantes sobre as relações proporcionais diretas, quando se referiram à quantidade de íons derivados de uma reação. Nesse sentido, o estudante 2D explicita as relações proporcionais em quantidade de matéria, já definidos pela reação, mas não vincula às quantidades específicas da situação proposta, em termos de propriedades intensivas (concentração). Assim consideramos que o conhecimento mobilizado se refere ao uso das relações proporcionais diretas.

Para as mesmas situações, os estudantes também foram capazes de mobilizar invariantes operatórios sobre o uso de relações proporcionais indiretas, ou seja, com uso de diferentes unidades entre as variáveis, como exemplificado nos excertos de 1C, 4B e 5D.

(Resposta para S03PI) *“Sabendo a massa total e parcial de cada e fazendo a porcentagem” (1C)*

(Resposta para S06P03) *“É possível determinar a massa de ácido tartárico através do experimento de titulação. Com o volume da alíquota, as proporções e a quantidade de NaOH utilizado, é possível fazer relações entre estes valores para se determinar a massa do ácido” (4B)*

(Resposta para S06P05) *“A partir da massa do sal seria possível calcular a quantidade de íons a partir da massa molar do ânion e do cátion e de suas respectivas porcentagens. Por exemplo, a massa do sal seria de 155g/mol, o que corresponde a 15% de Na^+ e 85% de $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6^-$ se tivéssemos uma massa de 25g, 3,75g seria de Na^+ e 21,25g de $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6^-$ ” (5D)*

Neste contexto, outras variáveis foram relacionadas, como a massa em relação ao seu percentual (aluno 1C), a massa em associação ao volume (estudante 4B) e a massa em relação

ao seu percentual e a quantidade de partículas (estudante 5D), sem o uso de propriedades intensivas.

Em contrapartida, os estudantes também foram capazes de mobilizar invariantes operatórios sobre as relações proporcionais intensivas, como exemplificado nas respostas 3B, 2D, 4A e 4E:

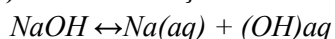
(Resposta para S01PI) *“Como estes ácidos e bases dispostos possuem a mesma concentração, logo a sua quantidade molar e o volume são praticamente os mesmos. Uma maneira de se determinar essas proporções, podemos tentar descobrir qual sua massa (nº de mols) ou seu volume” (3B)*

(Resposta para S01P05) *“Seria necessária metade da quantidade da base, utilizada. O equivalente a aproximadamente 2,5mL, visto que, o número de entidades em relação ao volume total, será duas vezes maior, tratando-se da solução básica” (2D)*

(Resposta para S01P04) *“5mL (aproximadamente). Se uma unidade de ácido reage com duas unidades de base, ao dobrar a concentração da base diminui-se pela metade o volume de base usada” (4A)*

(Resposta para S03PI) *“É determinado pela massa atômica de cada elemento, por exemplo a massa molecular da água é 18g/mol logo a massa atômica do oxigênio é 16g então a proporção em termos de massa do elemento oxigênio na água é de 16g de oxigênio para 18 g de água, ou então 2 g de hidrogênio para 18 g de água. O do hidrogênio é 2 porque a água possui 2 átomos de hidrogênio na sua estrutura” (4E)*

(Resposta para S06P05) *“Pela dissolução dos mesmos em água*



Pela relação molar dessas espécies, por exemplo, com a massa molar delas, obtém-se as massas da mesma forma é possível determinar a massa dos íons referentes ao ácido” (4A)

Os alunos 3B, 2D e 4A, expressam conceitos relativos a compreensão da concentração como relevantes, tanto para prever os volumes de base necessários na reação, quanto, para determinar a proporção entre os seus componentes. Nestes três exemplos fica claro que, não somente a expressão “concentração” é pronunciada como também existem indícios de entendimento e utilização do termo quando se referem à: *“ácidos e bases dispostos possuem a mesma concentração, logo a sua quantidade molar e o volume são praticamente os mesmos”* ou *“o número de entidades em relação ao volume total, será duas vezes maior”* e *“uma unidade de ácido reage com duas unidades de base, ao dobrar a concentração da base diminui-se pela metade o volume de base usada”*. Existe então, uma relação proporcional entre o número de entidades (que neste caso aumentaria, com o aumento da concentração), e o

volume (que deveria ser menor, com o aumento da concentração), expressando, por fim, a relação entre os dois, que resulta na concentração.

Em outras circunstâncias, os estudantes julgaram relevante o uso da massa molar, para expressar a relação de proporcionalidade com o uso de propriedades intensivas. Os estudantes 4E e 4A, por exemplo, utilizam da expressão “massa molar”, e a associam com a massa molar de cada elemento, enfatizando que, com a relação entre as massas desses elementos é possível fazer-se a determinação, seja numa reação, ou mesmo na própria composição da substância.

Alguns estudantes também consideraram necessário o reconhecimento das equações para que as relações proporcionais fossem estipuladas, como exemplificado nos excertos de 1A, 2J, 3B e 3C:

(Resposta para S01PI) *“A proporção se dá entre o número de mol com a reação balanceada assim você obtém a proporção entre os mesmos” (1A)*

(Resposta para S01PI) *“Por meio do método de titulação ácido-base. Onde utilizamos uma substância com proporções conhecidas e indicadores ácido-base para conseguir calcular e encontrar a concentração das substâncias presentes na solução” (2J)*

(Resposta para S03PI) *“Cada molécula tem sua proporção própria. Acredito que uma das formas, de se determinar a quantidade de alguns átomos ligados ao outro, é pela regra do octeto. Alguns elementos alcançam suas devidas estabilidades por meio da ligação química. Na água (H₂O), por exemplo, o Oxigênio se estabiliza se ligando à mais dois elementos. Isso ocorre também para o Hidrogênio (H)” (3B)*

(Resposta para S06P05) *“A quantidade de mols para os íons está associada com o índice da fórmula da substância, ou seja, $1AxBy \rightarrow XA^{+Y} + YB^{-X}$ ”(3C)*

De fato, o conhecimento relativo às reações químicas, possibilita a compreensão imediata das relações proporcionais entre os componentes na reação química, como justificado por 1A, 2J, 3B e 3C. Entretanto, as relações proporcionais, ao longo da história da química, foram determinadas antes da compreensão das fórmulas, equações e teorias que a explicam, em termos de ligações químicas, por exemplo.

Nesse sentido, apesar das relações proporcionais serem mais evidentes quando se tem o conhecimento das equações, a construção desse conhecimento, entre os elementos e nas reações, não é estabelecida somente pelo reconhecimento da reação já expressada, equilibrada. É preciso reconhecer que por trás das teorias e símbolos existem as relações conceituais que proporcionam o estabelecimento das quantidades envolvidas. Niaz e Montes (2012) discutem que, quanto à aprendizagem da proporcionalidade, o ensino de leis, como por

exemplo, a Lei das Proporções Múltiplas ou Lei da Conservação das Massas, desfavorecem a construção destes conceitos, pois os alunos, ao constatarem o prevalecimento destas leis não questionam sua validade, assim, não se dispõem em pensar na construção dessas relações. Desse modo, reiteram que,

Se as leis científicas são idealizações, então elas não descrevem o comportamento dos corpos reais e, portanto, podem não ser muito úteis para entender o mundo da experiência (Giere, 1999). Essa perspectiva leva a uma avaliação crítica das leis de proporções definidas e múltiplas e seu papel na educação química. Enfatizar essas leis inevitavelmente leva ao uso de algoritmos e fórmulas no aprendizado da química e especialmente na estequiometria (NIAZ; MONTES, 2012, p. 7, tradução nossa)⁵⁰.

Outras relações proporcionais também foram estabelecidas, explicitando alguns conhecimentos, no entanto, foram circunstanciais do ponto de vista das elaborações conceituais, como exemplificado nas respostas de 2F, 3A e 2C:

(Resposta para S01P04) *“Seria necessária a metade do volume encontrado. O volume é o dobro na neutralização porque a concentração de ácido é o dobro da concentração da base. Se a concentração se igualar, o volume do ácido e da base serão as mesmas para a neutralização” (2F)*

(Resposta para S06P03) *“Primeiramente calculamos a concentração da solução de ácido tartárico, na sequência é possível calcular o número de mols, a partir destes valores, podemos determinar a massa do titulado utilizando o volume da base titulada, esses cálculos seriam para 1L da solução, então para achar a massa presente em 20mL usaremos uma regra de três. $C = n/v$ $n = m/MM$ ” (3A)*

(Resposta para S06P05) *“Pensando nos 13,4mL do titulante, temos que 0,00134mol de NaOH foi utilizado na reação. Como a relação (nos produtos) entre os íons do sal é de $1Na^+$ para 1 tartárico⁻ na equação, na reação temos que 0,00134mol de Na^+ está para 0,00134 mol de tartárico⁻, ou seja, um total de 0,00268mol de íons. Se 1 mol - $6,02 \times 10^{23}$; $0,00268mol = 1,613 \times 10^{21}$. Logo, a quantidade de íons que compõem o sal é de $1,613 \times 10^{21}$ partículas” (2C)*

Para o estudante 2F, as palavras “concentração” e “volume” e a ideia de entidades, são usadas como sinônimos. Expressou então que, inicialmente, o volume é inversamente proporcional a concentração, na sequência, inferiu que este volume está associado com as quantidades proporcionais de ácido e base, utilizando o termo “concentração”. Portanto, ao

⁵⁰Citação original: If scientific laws are idealizations, then they do not describe the behavior of actual bodies, and hence may not be very helpful in understanding the world of experience (Giere, 1999). This perspective leads to a critical evaluation of the laws of definite and multiple proportions and their role in chemistry education. Emphasizing these laws inevitably leads to the use of algorithms and formulae in learning chemistry and especially stoichiometry.

afirmar que a concentração de um é o dobro do outro, não releva que, as concentrações são as mesmas, por isso os volumes devem ser diferentes, e, o que difere é a quantidade de partículas presente nestes volumes. Em continuidade a esta ideia, se refere à igualdade das concentrações e não a igualdade do número de partículas.

Para outros estudantes as relações proporcionais são estabelecidas de maneira circunstancial, pois partem de premissas para resolver à problemática, como exemplificado na resposta do estudante 3A. Em um experimento de titulação parte-se, normalmente, do componente de concentração conhecida (no caso a base), para então se determinar alguma relação proporcional entre o componente desconhecido (no caso o ácido). Já o estudante 2C estabelece quase todas as relações proporcionais de forma coerente, entre volume, quantidade de matéria e a constante de Avogadro, no entanto, considera que o ácido é monoprotico, assim, a proporção entre os componentes não é clara.

4.2.4 As relações proporcionais na determinação de fórmulas químicas

As situações propostas durante esta investigação, também proporcionaram a compreensão das relações proporcionais na determinação de fórmulas químicas, o que se refere ao 5º nível de complexidade das relações proporcionais, indicados por Ramful e Narod (2014). Neste contexto, ponderamos que os seguintes questionamentos contemplavam estas relações: **AP – P04: Conhecendo as massas atômicas de dois elementos, X e Z, determine a fórmula mínima do composto formado por X e Z, considerando que seus percentuais na amostra sejam: X =75%; Z =25%. Explique como chegou ao resultado. Dados: X = 12 g/mol; Z = 1 g/mol. S03 – P07: Como é possível determinar a proporção de elementos em uma substância, usando a massa como parâmetro? S04 – P03: Considerando as massas relativas de Dalton, suponha que por meio de uma análise experimental, um composto é formado por 26, 3% de azoto e 73,7% de oxigênio. Represente a fórmula desse composto e explique a lógica adotada para determinação da fórmula.**

Por meio das respostas dos estudantes foi possível inferir a mobilização de 5 tipos de invariantes operatórios: **existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis; existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis; existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas; existe relação proporcional, e ela pode ser expressa na determinação de fórmulas químicas e**

existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial. Estes conhecimentos foram organizados de acordo com seu aparecimento no Quadro 26.

Quadro 26: Invariantes operatórios para proporção na determinação de fórmulas químicas

Invariantes operatórios	AP – 04	S03 – 07	S04 – 03	Total
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis		1D, 2C, 2F, 4A, 4D, 4E, 5B, 5C		8
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1A	1C, 2H, 3C	1A	5
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas		5D		1
Existe relação proporcional, e ela pode ser expressa na determinação de fórmulas químicas	3C, 3D, 4A, 4E, 5A, 5B, 5C	3B	1D, 1I, 2H, 3A, 3D, 4A, 4E, 5A, 5B	17
Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	1B, 1D, 1I, 2B, 2C, 2D, 2F, 3A, 4C, 4D		1B, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 3B, 3C, 4C, 4D	20

Fonte: Autoria Própria.

Com relação ao primeiro tipo de invariante operatório, sobre as relações entre as mesmas variáveis, 8 estudantes se referiram a esta forma de relação proporcional quando questionados sobre a proporção de elementos em uma substância, como demonstrado nas respostas de 1D e 4D:

(Resposta para S03P07) “Através de uma razão, entre a massa (parâmetro) e a massa de outro elemento que se quer relacionar” (1D)

(Resposta para S03P07) “Conhecendo a massa de cada um é possível estabelecer uma relação entre eles, e determinar a proporção entre os elementos” (4D)

Para eles a relação proporcional pode ser estabelecida somente com o uso de massas. Já com relação ao uso de diferentes variáveis, em um total de 5 vezes, os estudantes estabeleceram relações proporcionais com variáveis distintas, usando, geralmente, as massas e suas proporções percentuais, como indicado nas respostas de 1A e 2H.

(Resposta para APP04) “ X_1Z_4 . Equiparando as massas aos percentuais que foram dados” (1A)

(Resposta para S03P07) “Sabendo a massa de cada elemento, analisar a porcentagem na massa total” (2H)

No contexto das relações proporcionais, com o uso de propriedades intensivas, o estudante 5D expressou a necessidade do uso da massa molar para a determinação da proporção entre os elementos:

(Resposta para S03P07) “É necessário conhecer quais os elementos, a massa molar de cada um deles fazer uma relação entre a massa da substância e dos elementos” (5D)

Quanto aos invariantes operatórios sobre as relações proporcionais na determinação de fórmulas químicas, consideramos para a sua inferência, todas as relações proporcionais necessárias para esta determinação. Esperávamos então que, os estudantes estabelecessem associações entre as massas experimentais ou seus percentuais, as massas molares e a quantidade de partículas relativas às proporções nas fórmulas químicas. Nesse âmbito, por 17 vezes os estudantes mobilizaram invariantes sobre estas relações proporcionais, como exemplificado nas respostas de 5A, 3B e 3D:

(Resposta para APP04) “Considerando que foi usado 1 mol de X, e a massa desse é 75% do total do composto, esse composto tem 16g, sendo 12g de X e restando 4g de Z, como 1 mol de Z tem 1g, 4g teriam 4 mols” (5A)

(Resposta para S03P07) “Pensando como antigos químicos, Dalton por exemplo, no seu modelo atômico ele sabia que a partir da combinação dos reagentes formavam novos produtos, a partir da reorganização desses átomos. Como desde os tempos de Lavoisier ele propôs que a massa se conserva, portanto, um dos meios de se calcular a proporção destas substâncias a partir do massa, pela fórmula mínima para cada átomo. Por meio da pratica, é possível determinar a porcentagem de formação de alguns produtos. Temos que, em um processo químico, chegamos a um resultado em 100% - 75% de X e 25 X de Y. A partir desses dados, e da massa molar disposta na tabela, por exemplo /12 u.m. e 1 u.m. $75g/12 \rightarrow 6,25 \text{ mols}$ e $25/1 = 25 \text{ mols}$

$$6,25\text{mols}/6,25\text{mols} = 1 \text{ e } 25/6,25 \rightarrow 4$$

Segundo a massa molar ser bastante conhecida, logo chega-se a conclusão de que trata-se do CH_4 (metano)” (3B)

(Resposta para S04P03) “Segundo a massa molar ser bastante conhecida, logo chega-se a conclusão de que trata-se do CH_4 (metano)” (3B)

“100g \rightarrow 26,3g (símbolo azoto) \rightarrow 5 \rightarrow 5,26 \div 2 5,26 - 10,52
73,7g (símbolo oxigênio) \rightarrow 7 \rightarrow 10,52 \div 2 1 - 2
A cada 1 azoto é necessário 2 oxigênios
Dividi a massa presente em 100g de cada composto, pela sua massa elementar e tentei criar uma proporção entre as massas” (3D)

Neste âmbito, os estudantes expressaram relações proporcionais, em todas as instâncias necessárias. Considerando uma massa inicial, por eles estipulada, associaram estas massas a quantidade de matéria nelas presente. Esta ponderação foi feita mediante o uso das massas molares indicadas no questionamento (ou já eram conhecidas por eles, como na explicação de 5A). Também estabeleceram relações entre as quantidades de matéria dos elementos, para então, a indicação das fórmulas químicas.

Em decorrência da complexidade deste nível, percebemos que os estudantes expressaram por mais vezes (comparando proporcionalmente) as relações proporcionais circunstanciais nos questionamentos avaliados sobre as relações proporcionais na determinação de fórmulas químicas, como evidenciado nas respostas de 1B, 2A e 2D:

(Resposta para APP04) *“Creio que X_3Z_1 , já que 3 vezes mais de X do que de Z (não sei onde encaixar os dados fornecidos)”* (1B)

(Resposta para S04P03) *“1 azoto + 5 oxigênio → 6 azoto + oxigênio. Através da porcentagem sendo 6 partículas igual a 100% chega-se que aproximadamente 5 partículas é 73,7 % e uma partícula é 26,3%”* (2A)

(Resposta para S04P03) *“Se o azoto reagir com o oxigênio segundo a teoria de Dalton, respeitando uma proporção, a massa final do composto será 12g, o que equivale a 100%. Dessa forma 26,3% desse total corresponde à massa do azoto, 3,156g e a diferença entre eles equivale à massa do oxigênio, 8,884g. O composto possui, então, fórmula NO”* (2D)

Neste sentido, a relação proporcional foi estabelecida pelo estudante 1B em decorrência das massas percentuais dos elementos X e Z, já que um equivalia a 25%, enquanto que o outro 75%. Para alguns deles, não se mostrou relevante ponderar que cada um dos elementos possuía uma massa molar diferente, assim, as relações proporcionais percentuais não eram diretas. Para o estudante 2A, existe uma relação proporcional entre as partículas, no sentido de igualdade do numeral, no entanto, não existe no sentido de manutenção das partículas. Já para o estudante 2D também é estipulada uma igualdade entre as massas iniciais de azoto e oxigênio e seu produto. Apesar disso, o estudante não percebe a inconsistência entre as massas encontradas, considerando os percentuais, e as massas iniciais de azoto e oxigênio.

Em todos os três casos, ponderamos que os estudantes encontraram uma relação proporcional, mas não compreendem que estas relações dependem de outros fatores, para que a fórmula química seja estipulada. Ramful e Narod (2014) discutem sobre a importância em se fazer distinções entre equações químicas e equações matemáticas. Segundo os autores, uma equação química não envolve uma igualdade e sim, relações proporcionais em termos de razões molares. Para estes estudantes o estabelecimento das igualdades, proporcionou inferir

que “1 azoto + 5 oxigênio → 6 azoto + oxigênio”, ou que, “se o azoto reagir com o oxigênio segundo a teoria de Dalton, respeitando uma proporção, a massa final do composto será 12g”, ou seja, a resultante sempre será a soma das partes.

4.2.5 Considerações sobre as relações proporcionais

As relações proporcionais, quando tratadas as questões matemáticas podem ser de extrema complexidade para os indivíduos. Vergnaud (2014) descreve, no mínimo, 8 formas diferentes de analisar uma simples relação proporcional, como por exemplo, em regra de três simples⁵¹. Neste contexto, ponderar sobre as relações proporcionais, na química, pode exigir ainda mais situações e inter-relações entre muitos conceitos. Assim, percebemos que, em resposta às problemáticas, propostas nas situações, os estudantes foram capazes de estabelecer algum tipo de relação proporcional e, desse modo, a maioria dos invariantes operatórios se referiu à proposição de relações, que nem sempre são coerentes do ponto de vista químico, como quando consideraram a soma das partículas para determinar a fórmula química dos compostos, e podem ser coerentes do ponto de vista matemático.

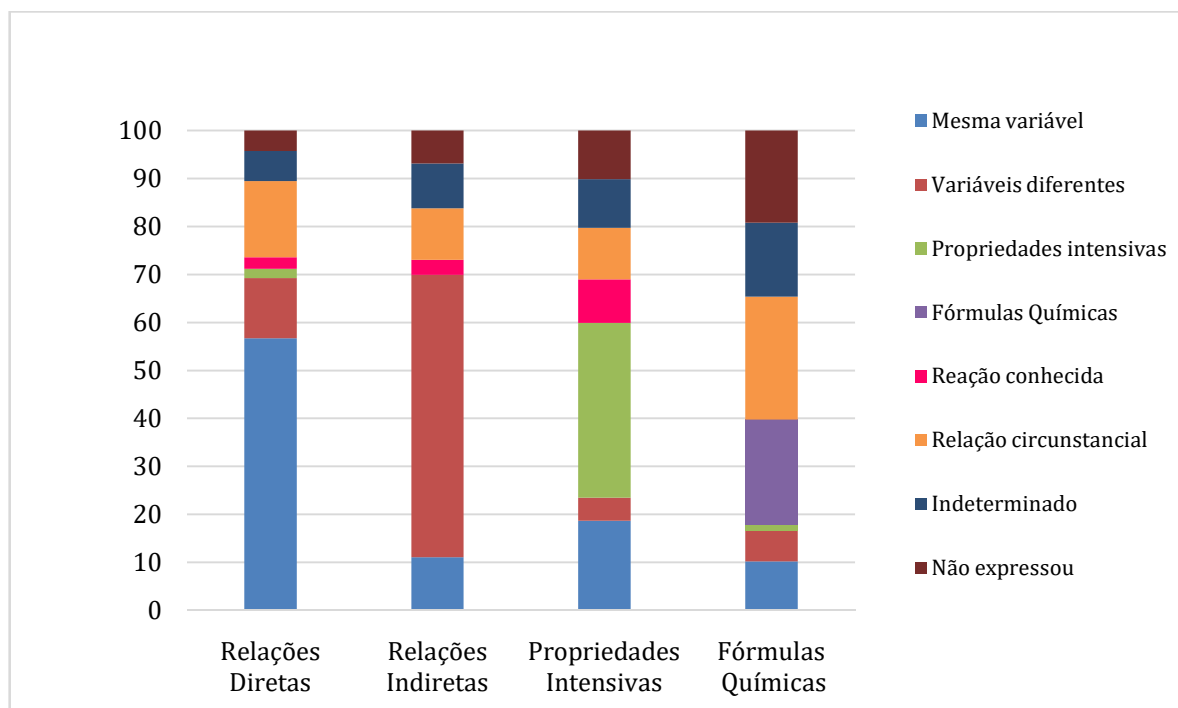
Neste âmbito, ainda da complexidade, as próprias relações proporcionais, na estequiometria, podem estar sobre diversas formas, assim, sobre níveis crescentes de complexidade. É necessário considerar todas as variáveis de maneira interdependente, pois, estão sempre relacionadas à combinação de substâncias e entre substâncias. Para esta crescente complexidade, percebemos que os estudantes consideraram as variáveis e certas relações entre elas, mas tiveram dificuldades em transitar do nível menos complexo, de relação proporcional, para o mais complexo.

Logo, quando avaliamos a Figura 13, percebemos que os invariantes operatórios, de menor complexidade para cada nível das relações proporcionais, foram menos expressados, conforme o nível de dificuldade avançava. Então para o primeiro e segundo nível tivemos uma quantidade considerável de invariantes operatórios sobre as relações proporcionais diretas e indiretas, respectivamente. Sobre o terceiro nível, tivemos uma redução em torno de 20% nos invariantes operatórios para as relações proporcionais intensivas, em comparação aos dois primeiros níveis. Já nas fórmulas químicas, o número de expressões sobre o conhecimento proporcional, mínimos referentes a este nível, também diminuiu mais de 35%

⁵¹O problema discutido por Vergnaud consiste em: 3ovelos de lã pesam 200 gramas. São necessários 8 para fazer um pulôver. Qual vai ser o peso do pulôver?

em relação ao primeiro. O número de estudantes que não expressou e as respostas que foram classificadas como indeterminadas também aumentaram gradativamente em consideração às formas de expressar as relações proporcionais. O mesmo ocorreu para as relações circunstanciais.

Figura 13: Distribuição percentual dos invariantes operatórios em relação às formas de expressar a proporcionalidade



Fonte: Autoria Própria.

Consideramos então que, alguns conceitos foram explicitados, mas existiram dificuldades em alocar as informações existentes, ou, quando alguns conceitos eram utilizados para justificar as relações proporcionais, como, força ácida, ligação química, concentração, mol, volume, eles não eram pertinentes aqueles contextos.

Alguns estudantes também explicitaram que as relações proporcionais só são estabelecidas caso a reação química seja informada, assegurando a necessidade do conhecimento dos símbolos ou de teorias que irão prever as relações proporcionais, o que minimizou a necessidade de conhecimentos sobre as relações em termos de massas, quantidade de partículas, quantidade de matéria, entre outros.

Corroboramos com Ramful e Narod (2014) quando discutem que, sobretudo, as relações proporcionais, na estequiometria, devem sempre ser consideradas em termos molares, desse modo, os indivíduos serão capazes de perceber que as relações proporcionais entre massas, quantidade de matéria, se remetem, necessariamente, à quantidade de partículas

envolvidas na reação. Com base nas informações obtidas nesta investigação, notamos que estas relações aparecem, porém não são em todas as situações, assim, em alguns casos, os estudantes afirmaram que as proporções em massa e em quantidade de matéria eram as mesmas.

4.3 AS MASSAS MOLARES NO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA

O conceito de massa molar também faz parte do campo conceitual da estequiometria e se mostra relevante, pois, por seu intermédio é possível o estabelecimento de relações entre massas em gramas e as partículas que as contém, diante da unidade para quantidade de matéria (mol). Historicamente a adoção de padrões de massa foi fundamental para o desenvolvimento e consolidação da química, enquanto ciência, pois, até a primeira metade do século XIX, cientistas adotavam padrões de massa diferentes para um mesmo elemento químico (inicialmente usando hidrogênio como padrão, posteriormente oxigênio) (MENDES; MARANHO; GONDIM, 2013). Por consequência, o mesmo composto poderia apresentar várias fórmulas e, compostos diferentes, poderiam ser representados pela mesma fórmula química.

Atualmente o padrão adotado pela comunidade científica (normalizado pela IUPAC), se refere ao átomo de carbono-12, assim, a massa atômica é estipulada como um duodécimo da massa de um átomo de carbono-12 no estado fundamental (IUPAC, 1996). A partir do momento que um único padrão de massa foi adotado, tais dificuldades se atenuaram, facilitando a comunicação e divulgação do trabalho dos cientistas (BARÁNSKI, 2012). Em decorrência da padronização da massa, também foi possível seu uso em contextos acadêmicos e escolares.

Nesse âmbito, vários estudos (BOUJAOUDE; BARAKAT, 2003; DAHSAH; COLL, 2007; CHANDRASEGARAN, et al., 2009; DAVIDOWITZ; CHITTLEBOROUGH; MURRAY, 2010; DRESSLER; ROBAINA, 2012; SANTOS; SILVA, 2013; HANSON 2016) que relatam situações de aprendizagem em estequiometria se referem à massa molar como um dos conceitos necessários para sua compreensão.

Apesar da importância no estudo da química, vários estudos discorrem sobre problemas na compreensão do conceito de massa molar. Dahsah e Coll (2007), Tristão, Silva

e Justi (2008), Chandrasegaran, et al. (2009), Dressler e Robaina (2012), Santos e Silva (2013; 2014) e Hanson (2016), discutem que os estudantes (tanto em nível médio como superior) apresentam dificuldades em calcular a massa molar dos compostos. Mais especificamente, Fach, De Boer e Parchmann (2007) explicam que, os estudantes costumam somar as massas dos elementos, nos compostos, e depois multiplicar ou dividir pelo coeficiente estequiométrico ao tentar encontrar a massa molar.

Davidowitz, Chittleborough e Murray (2010) e Hanson (2016) também discutem que os estudantes habitam determinar a massa dos componentes, em uma reação, somente estipulando as massas molares dos reagentes ou dos produtos, sem considerar as informações da problemática. Hanson (2016) também se refere à unidade utilizada no cálculo da massa molar. Em geral os estudantes expressam a massa molar somente em gramas, suprimindo a unidade de quantidade de matéria (mol).

Quanto ao seu conceito, alguns estudantes costumam ter dificuldades em diferenciar massa molar de massa molecular (DAHSAH; COLL, 2008; SANTOS; SILVA, 2013; 2014). Nesse âmbito, Dahsah e Coll (2008) discutem que, alguns alunos da educação básica, consideram que a massa atômica é a massa de um átomo e que a massa atômica é a comparação entre a massa de um átomo e a massa de um átomo de Carbono-12. Também acreditam que, a massa molecular é a massa de um elemento e que a massa molar é a massa de uma molécula.

Neste contexto, Boujaoude e Barakat (2003) apontam que, na maioria das vezes, os problemas de aprendizagem com a massa molar se resumem as deficiências quanto as suas bases conceituais. Os autores salientam que é necessário compreender as diferenças entre os conceitos de molécula, átomo, mol, assim, é menos provável que os estudantes possuam dificuldades em determinar as massas molares dos compostos. Para eles, por exemplo, na molécula de amônia é preciso considerar:

- a) que as moléculas discretas de amônia são NH_3 ,
- b) a massa molar da amônia é a massa da quantidade que contém o número de partículas de Avogadro,
- c) um mol de amônia contém um mol de átomos de nitrogênio e três mols de átomos de hidrogênio,
- d) a massa de um mol de um átomo é igual à massa atômica em gramas que é, na verdade, a massa da quantidade que contém o número de partículas de Avogadro,
- e) as declarações acima

são independentes da estequiometria da amônia na equação química (BOUJAOUDE; BARAKAT, 2003, p. 17, tradução nossa)⁵².

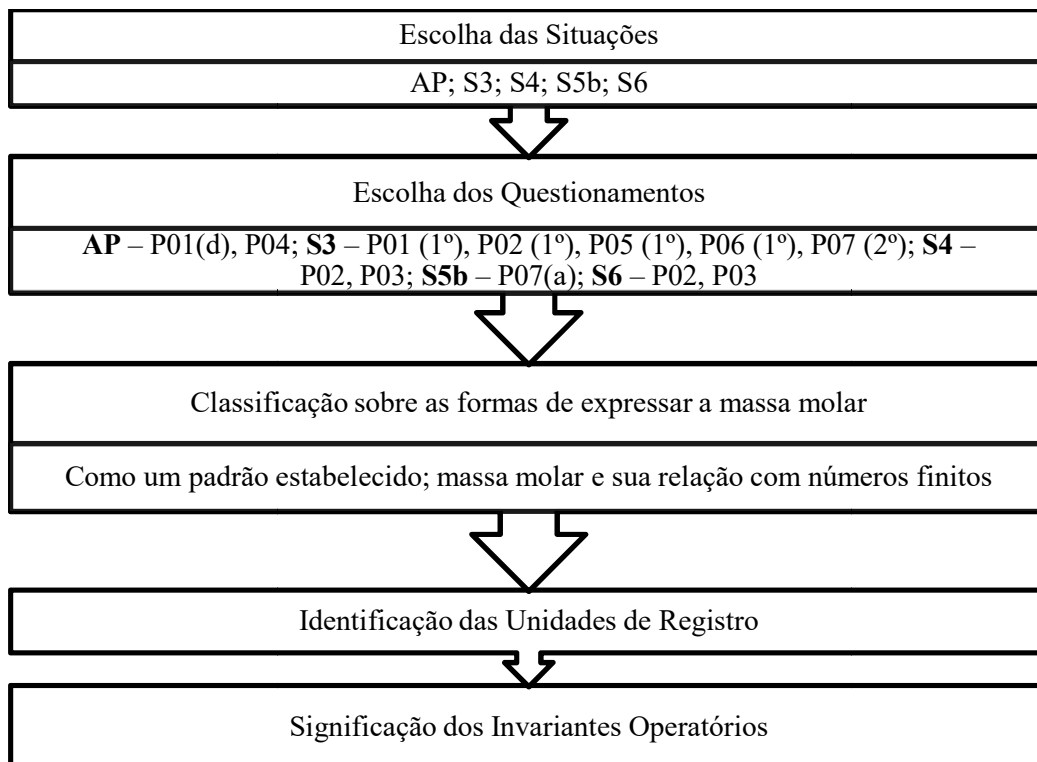
Considerando então, a perspectiva das relações quanto à aprendizagem do conceito de massa molar, buscamos, nesta investigação, compreender seu processo de conceitualização, bem como, de que forma essa construção pode interferir no entendimento da estequiometria. Para isso, utilizamos além da Situação 3 (S3), que possuía foco específico na questão do estabelecimento de massas padrão, outros questionamentos que continham relações com este conceito. Neste sentido, também foram utilizadas, para a análise, problemáticas referente às Situações 4, 5b e 6 (S4, S5b, S6), além da Atividade Prévia (AP). Destes questionamentos inferimos diferentes formas de expressar o conceito de massa molar, a saber: massa molar como um padrão estabelecido e a massa molar e sua relação com números finitos.

Mediante as respostas dos estudantes frente às situações propostas, buscamos identificar as unidades de registro, por meio da análise de conteúdo (BARDIN, 1977) e, com isso, depreendemos os significados para proposição das categorias de análise (invariantes operatórios). Assim, sintetizamos o processo de organização das informações na Figura⁵³ 14.

⁵²Citação original: a) the discrete molecules of ammonia are NH_3 , b) the molar mass of ammonia is the mass of the amount that contains Avogadro's number of particles, c) one mole of ammonia contains one mole of nitrogen atoms and three moles of hydrogen atoms, d) the mass of one mole of an atom is equal to the atomic mass in grams which is actually the mass of the amount that contains Avogadro's number of particles, and e) the above statements are independent of the stoichiometry of ammonia in the chemical equation.

⁵³Todo o processo de categorização, para a massa molar, encontra-se no Apêndice J.

Figura 14: Sistematização do processo de análise dos resultados para a massa molar



Fonte: Autoria Própria

Após a categorização dos invariantes operatórios, verificamos sua ocorrência quanto ao aparecimento nas respostas dos estudantes, o que será apresentado e discutido na sequência.

4.3.1 A massa molar como um padrão estabelecido

A massa molar, como um padrão estabelecido, foi abordada em alguns questionamentos presentes nas situações contidas nesta investigação. De fato, poucas problemáticas necessitavam de reflexões específicas sobre a massa molar como um padrão estabelecido, no entanto, esta visão possibilita que, não somente se pense nas massas de outros elementos em circunstância do estabelecimento de um padrão, como também que, em virtude desta padronização, deve-se considerar que não é possível a atribuição de massas aleatórias em torno dos compostos químicos.

Nesse sentido, para esta forma de expressar a massa molar, permeamos as questões que se referiam, utilizavam ou na qual entendemos ser necessária a compreensão da padrões de massa. Logo, selecionamos os seguintes questionamentos: **AP – P04: Conhecendo as**

massas atômicas de dois elementos, X e Z, determine a fórmula mínima do composto formado por X e Z, considerando que seus percentuais na amostra sejam: X =75%; Z =25%. Explique como chegou ao resultado. Dados: X = 12 g/mol; Z = 1 g/mol. S03 – P01: Como é possível determinar a quantidade em matéria do sal e da água no sal hidratado? S03 – P02: A utilização de dados experimentais é suficiente para determinar a fórmula de uma substância? Qual a sua justificativa para isso? S03 – P05: Para que servem os padrões? Qual a importância em se adotar padrões na Química? S03 – P06: Você se lembra de algum padrão usado na Química? Se sim, por favor, comente. S03 – P06: Qual o papel dos feijões nessa atividade? S03 – P07: Como é possível determinar a proporção de elementos em uma substância, usando a massa como parâmetro? S04 – P02: Baseado na tabela de Dalton, em que é tomado o hidrogênio como padrão de massa, quantas vezes a massa do átomo de ferro é maior que a massa do átomo de enxofre? Como chegou a esta conclusão? S04 – P03: Considerando as massas relativas de Dalton, suponha que por meio de uma análise experimental, um composto é formado por 26,3% de azoto e 73,7% de oxigênio. Represente a fórmula desse composto e explique a lógica adotada para determinação da fórmula.

Em resposta a estes questionamentos, inferimos a mobilização de 6 invariantes operatórios:

- **Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas.** Para inferência deste invariante, consideramos as respostas em que os estudantes propunham relações entre as massas molares ou massas padrão estabelecidas na situação, as variáveis experimentais e a quantidade de partículas específica, referente a estas massas.
- **Somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição.** Nestes casos, inferimos o invariante quando os estudantes ponderaram sobre as relações experimentais ou as condições específicas das problemáticas, mas sem relevar os valores padrão de massa.
- **Somente os dados individuais, de cada componente, são suficientes para resolver o problema.** Para este invariante, consideramos as respostas em que os estudantes estabeleciam relações somente nos elementos, mas não entre os elementos, seja na composição ou reação química.
- **As massas das partículas são iguais.** Neste caso ponderamos este invariante operatório quando os estudantes levaram em consideração a massa de um dos elementos para determinação de todas as relações.

- **Os padrões marcam um "zero".** Inferimos este invariante operatório nas respostas que considerava a definição de um valor inicial como referência dos padrões.
- **Os padrões servem como referência para comparações.** Para este último invariante operatório, relevamos as respostas que considerava os padrões como referência de qualidade.

Como demonstrado no Quadro 27, o invariante operatório, mobilizado por mais vezes em respostas as atividades e situações propostas, refere-se à existência de relações coesas (parte acinzentada Quadro 27) entre as massas padrão, as massas experimentais e a quantidade de partículas. Esta relação pode ser exemplificada nas respostas dos estudantes 2C, 4A, 1B e 1D:

(Resposta para APP04) *“Considerando $X = 75\text{g}$ e $Z = 25\text{g}$, temos que:
 $6,5 \text{ mol de } X + 25 \text{ mol de } Z \rightarrow 6,5 \text{ mol de } XZ$*

Considerarei os valores de X e Z em gramas e utilizando a relação g/mol efetuei os cálculos (regras de três simples) e cheguei ao resultado” (2C)

(Resposta para S03P01) *“A massa do sal (antes do aquecimento) é a massa total de sal + água. Ao aquecer a água é liberada, restando somente a massa do sal. Pela relação massa molar e massa obtêm-se a quantidade de matéria” (4A)*

(Resposta para S04P02) *“Arbitrariamente Dalton diz que 1 átomo de hidrogênio possui 1 g, logo, todos os demais tem suas massas definidas a partir desta referência. A massa do ferro é 50/13 vezes maior que a massa do enxofre, é possível saber isso pois ambas as massas foram dadas a partir de um mesmo padrão” (1B)*

(Resposta para S04P03) *“Se 5 é a massa atômica relativa de azoto e 7 de oxigênio, dividimos os percentuais por suas massas respectivamente encontrando a quantidade de elementos para cada percentual: $26,3\%/5$; $75,7\%/7 = (\text{símbolo azoto}) 5,32 (\text{símbolo oxigênio}) 10,5$, agora simplificando temos: $(\text{símbolo azoto})1 (\text{símbolo oxigênio})2$, logo a relação é 1:2” (1D)*

Nos exemplos de respostas dos estudantes 2C e 4A, foi possível notar que, em suas explicações consideraram relevante o uso das quantidades em massa de X e Z e de sal, respectivamente, para justificar a determinação de fórmulas químicas. Também ponderaram que, é necessário o uso das massas molares (padrão) para determinar a quantidade de matéria, ou seja, a associação desta determinação com a quantidade de partículas proporcionais a ela. No caso do estudante 2C, verificamos que, só não foi possível o estabelecimento de uma fórmula química final, pois, não correlacionou as quantidades encontradas dos elementos (6,5mols de X para 25 mols de Z) para apresentar a fórmula da substância.

Nos casos dos alunos 1B e 1D, também temos exemplos de mobilização dos invariantes operatórios “existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas” para as situações propostas. Nestas duas circunstâncias, os estudantes levaram em consideração as massas atômicas, propostas a partir do padrão de massa atômica de Dalton, para estipular as outras massas/proporções entre os elementos.

Analisando as respostas dos estudantes, no que diz respeito a este invariante operatório, consideramos que, parte dos pressupostos de Boujaoude e Barakat (2003), sobre a massa molar, foi respeitada, no que tange, especialmente, as quantidades em matéria (mol) para cada espécie nas fórmulas químicas e também que a massa de um mol de um átomo é igual à massa atômica em gramas desse elemento.

Apesar de um número expressivo de estudantes ter mobilizado o invariante operatório sobre as relações entre massa padrão, massa experimental e quantidade de partículas, também um número significativo de estudantes expressou a ideia de que somente informações expressas nas situações ou que os dados experimentais eram suficientes na determinação da composição das substâncias. Nestes casos, os estudantes não atrelaram as informações sobre as massas teóricas (massa molar) às variáveis do problema.

Quadro 27: Invariantes operatórios expressados para massa molar como um padrão estabelecido

Invariantes Operatórios	AP – 04	S03 – 01	S03 – 02	S03 – 05	S03 – 06	S03 – 07	S04 – 02	S04 – 03	Total
Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas	1A, 1D, 2C, 3C, 3D, 4A, 4E, 5A, 5B, 5C	2B, 2C, 2D, 2E, 2J, 4A, 4D, 5D	1E, 2A, 2F, 2J, 3A, 5C			2C, 2F, 3B, 5D	1A, 1B, 1E, 2F, 2G, 3C, 4C, 4D	1D, 1I, 3A, 3B, 3D, 4A, 4C, 4E, 5A, 5B	46
Somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição	1B, 2F, 3A	1B, 1C, 1D, 2A, 2F, 3A, 3B, 3C, 3D, 4B, 4E, 5A, 5B, 5C	1B, 1C, 1D, 3C, 3D, 4B, 4E, 5B			1C, 1D, 2H, 3C, 4D, 4E, 5B, 5C		1A, 1B, 2A, 2C, 2F, 3C	39
Somente os dados individuais, de cada componente, são suficientes para resolver o problema	4D						1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2H, 2J, 3A, 3D, 4A, 4B, 4E, 5A, 5B	2B, 2D, 4D	18
As massas das partículas são iguais	4C								1
Os padrões marcam um "zero"				1B, 1C, 2C, 3B, 4D, 5B	1C, 1D, 2C, 2G, 2H, 3B, 3D, 4D, 4E, 5B				16
Os padrões servem como referência para comparações				1D, 1E, 2A, 2B, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 2J, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 5A, 5D	2A, 2B, 2E, 2F, 2J, 3A, 3C, 4A, 4B, 5A, 5D				28

Fonte: Autoria Própria.

Deste modo, o invariante operatório “somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição” foi mobilizado em um total de 39 vezes, como exemplificado nas respostas de 1B, 3A, 3D e 2F:

(Resposta para APP04) “Creio que X_3Z_1 , já que 3 vezes mais de X do que de Z (não sei onde encaixar os dados fornecidos)” (1B)

(Resposta para S03P01) “Sabendo a quantidade de sal hidratado inicialmente, após aquecermos a amostra até que seque, e pesarmos no final novamente, conseguimos determinar a quantidade de água presente e assim determinarmos a massa só do sal” (3A)

(Resposta para S03P02) “Sim. Antigamente, sem o auxílio de equipamentos modernos, já se conheciam a fórmula de uma grande variedade de substâncias” (3D)

(Resposta para S04P03) “Massa \rightarrow 5:7 Composto \rightarrow 26,3:73,7 Oxigênio aproximadamente 2,8 vezes a mais” (2F)

Para o estudante 1B (assim como evidenciado para outros estudantes) a fórmula química pode ser determinada mediante as quantidades experimentais. Assim, não ponderaram que as massas molares de X e Z são diferentes, dessa forma, as relações entre o percentual e a quantidade de partículas não é direta. Já o estudante 3A, mencionou que, com as massas de sal antes e após o aquecimento poder-se-ia encontrar a quantidade em matéria do sal e da água no sal hidratado, não elucidando a necessidade de comparações entre as massas teóricas e experimentais na determinação da quantidade de matéria. Neste mesmo âmbito, o estudante 3D afirma que, somente com os dados experimentais é possível o estabelecimento de fórmulas químicas. O estudante 2F faz uso das massas atômicas, mas não menciona que a comparação entre elementos é feita tomando um padrão em massa. Desse modo, não ficou claro se existe a compreensão entre as diferenças nas massas usadas e as massas padronizadas.

Outro invariante operatório explicitado pelos estudantes foi “somente os dados individuais, de cada componente, são suficientes para resolver o problema”. Este invariante se difere do anterior, pois, os estudantes estabeleceram relações entre os dados de massa padrão e as informações experimentais, no entanto, estas associações são feitas por meio dos dados individuais de cada elemento, sem implicações das informações de outros elementos para determinação da composição. Alguns exemplos são apresentados nas respostas de 4D e 2B:

(Resposta para APP04)

$12 - 100\%$	$1 - 100\%$
$x - 75\%$	$z = 25\%$
$x = 36$	$z = 1$

Z_1X_{36}

Calculei quanto 75% equivalia de 12 e quanto 25% equivalia de 1. Depois multipliquei para encontrar um valor inteiro” (4D)

(Resposta para S04P03) *“Neste caso em 100% tem-se 5g de azoto e em 26,3% tem-se 1,3 g. E em 100% tem-se 7 g de oxigênio em 73,7% tem-se 5,16g. Assim a fórmula da substância seria (NO₄)” (2B)*

Com relação à resposta de 4D foi possível verificar que, o estudante considerou que a massa molar de X era correspondente a 100% e que a massa de Z também equivalia a 100%. Por meio desta relação e dos percentuais de cada elemento, determinou a quantidade de átomos na substância, mas sem mencionar a relação entre X e Z, ou seja, de que forma os percentuais de cada um influenciavam na composição de X e Z. O mesmo foi verificado na resposta de 2B que comparou os percentuais em massa de cada elemento com seus valores de massas atômicas relativas para o azoto e oxigênio, mas sem considerar os percentuais entre estes elementos.

Consideramos então que, ao explicitar o invariante operatório “somente os dados individuais, de cada componente, são suficientes para resolver o problema”, os estudantes conceberam a ideia que as massas molares (padrão) devem ser usadas na determinação das fórmulas, no entanto, não julgaram necessário o estabelecimento de relações entre elas.

Quando exploramos, nos questionamentos propostos, as massas molares como padrão, também verificamos que o estudante 4C mobilizou o invariante operatório “as massas das partículas são iguais”:

(Resposta para APP04) *“ $X\% = 75/12 = 6,25$
 $Z\% = 25/12 = 2,08$ Z_2X_6 . Dividindo-se a porcentagem pela maior massa obtêm-se a fórmula mínima” (4C)*

Neste caso, foi possível perceber que o estudante 4C considerou que os elementos X e Z possuíam a mesma massa, mesmo que no exercício estivesse explicitada a massa molar de cada um dos elementos. Diferentemente dos outros invariantes mobilizados, neste caso existiu e relação entre a massa padrão, os percentuais em massa e a quantidade de partículas. No entanto, o acadêmico admitiu que ambos os elementos tinham a mesma massa atômica, assim, não ponderou que a massa molar é uma das principais características intrínsecas de cada elemento químico.

Ponderando sobre a necessidade do estabelecimento de padrões para a química, como o padrão de massa atômica e as massas molares como massas determinadas, também consideramos relevante questionar sobre a importância dos padrões na química e investigar se os estudantes mencionavam a massa atômica como um padrão estabelecido. Nesse sentido,

foram mobilizados, pelos estudantes, 2 invariantes operatórios: “os padrões marcam um “zero”” e “os padrões servem como referência para comparações”. Sobre os padrões como referências de valores, foi possível analisar que os estudantes expressaram por 16 vezes este invariante operatório, como indicado nas respostas de 2C e 3D:

(Resposta para S03P05) *“Padrões são utilizados para tornar possível determinados tipos de medidas. Na Química, por exemplo, em óxido-redução utiliza-se o padrão de Hidrogênio para determinar quem reduz e quem oxida. Sem os padrões, tais relações de medidas não seriam possíveis”* (2C)

(Resposta para S03P06) *“Padrões de reatividade. Padrões em eletrodos. EPH, foi definido, em uma condição padrão, que o potencial de redução do Hidrogênio é de 0v, desta forma, aplicando esse padrão, como referência, pode-se determinar o padrão de redução de várias outras espécies”* (3D)

(Resposta para S03P06) *“Fora o já citado na questão anterior, temos a massa atômica que é padronizada através da massa do carbono 12. Uma unidade de massa atômica equivale a 1/12 da massa do carbono”* (2C)

A maioria dos estudantes que expressou este invariante operatório se remeteu aos padrões para determinação de outros valores, como por exemplo, ao apontar o potencial de redução do hidrogênio como um marco na determinação de outros padrões de redução. O estudante 2C também mencionou o carbono-12 como padrão para a determinação das massas atômicas.

Além da consideração dos padrões, em química, como um marco inicial na determinação de outros valores, os estudantes mobilizaram, de forma mais expressiva, os padrões como referências de qualidade, ou seja, algo que deva ser seguido como um modelo. Desse modo, os estudantes 2F e 3A (assim como os demais nesta categorização), afirmam que os padrões em química são importantes, pois,

(Resposta para S03P05) *“Para fazer comparações entre valores experimentais e teóricos. Importante para verificar se os valores obtidos experimentalmente eram esperados, e se não for obtido o valor esperado, discutir as possíveis causas para o acontecimento”* (2F)

(Resposta para S03P06) *“Sempre que vamos analisar uma amostra, partimos de uma amostra padrão, ou valores padrão, com isso conseguimos determinar a pureza da amostra. Geralmente usamos esse processo em química analítica, mas temos contato com isso desde sempre como na química geral quando temos que explicar o porque deu errado na teoria que explica esses padrões”* (3A)

Para estes estudantes os padrões são relevantes, pois, por seu intermédio, podem ser estabelecidas comparações entre os valores obtidos e os valores teóricos (que seriam os padrões) e justificar as possíveis fontes de erros experimentais.

Deste modo, sobre a massa molar (que também pode ser denominada massa molar padrão), foi possível verificar que os estudantes a utilizaram em diferentes contextos, para justificar ou calcular o que era necessário. No entanto, quando se referiram ao termo “padrão” o associaram ao processo de padronização ou a comparações entre dados empíricos e teóricos. Logo, poucos estudantes mencionaram a massa molar como um dado padronizado, apesar de utilizá-la como tal. Neste âmbito, consideramos relevante compreender se os estudantes poderiam associar o conceito de massa molar como um padrão estabelecido, pois, por meio desta compreensão é possível estabelecer relações de equivalência entre essas massas padrão em uma reação química.

4.3.2 A massa molar e sua relação com números finitos

Nesta investigação também consideramos relevante compreender como os estudantes estabeleciam relações entre um número finito de partículas contidas nas massas molares de certas substâncias, seja relevando a quantidade de matéria e sua unidade o mol ou a constante de Avogadro. Assim, selecionamos nas situações e atividades propostas (Atividade Prévia, Situação 05 e 06), os questionamentos que se referiam a esta associação: **AP – P01 (d): Considere que tenhamos a mesma massa de todos os símbolos acima destacadas. Elas possuem a mesma quantidade de substância? Explique. S05b – P07 (a): 1 átomo de carbono 12, tem massa equivalente a 12 g. S06 – P02: Você considera que a proporção seria a mesma se considerássemos suas massas ao invés da quantidade de matéria. Por quê? S06 – P03: Explique como é possível determinar a massa de ácido tartárico contido na amostra de vinho (20mL).**

Mediante respostas dos estudantes, a estes questionamentos, foi possível inferir a mobilização de 5 invariantes operatórios: **“existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas”, “somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição”, “existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais não é direta”, “as massas das partículas são iguais” e “a massa molar corresponde à massa de uma partícula”**. No que difere da primeira forma de expressar a massa molar, inferimos dois

invariantes operatórios “**existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais não é direta**” e “**a massa molar corresponde à massa de uma partícula**”.

Para o invariante operatório “**existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais não é direta**” consideramos as respostas em que os estudantes imprimiram associações entre as massas molares e a quantidade de matéria, seja pela unidade mol ou a constante de Avogadro, mas tiveram dificuldade em relacionar estas informações aos dados experimentais, mostrando alguma inconsistência. Já para o invariante operatório “**a massa molar corresponde à massa de uma partícula**”, ponderamos sobre as respostas, aos questionamentos, em que os estudantes afirmavam que a massa molar (unidade g/mol) é a massa de um átomo deste elemento. Após a inferência dos invariantes operatórios, organizamos sua ocorrência, obtida por meio das respostas dos estudantes no Quadro 28.

Quadro 28: Invariantes operatórios expressados para massa molar e sua relação com números finitos

Invariantes Operatórios	AP – 01 (d)	S05b - 07 (a)	S06 - 02	S06 - 03	Total
Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas	1A, 1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2F, 2G, 2H, 3C, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1A, 1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2D, 3C, 3D, 4D, 5B, 5D	1E, 1I, 2C, 2E, 2F, 2G, 3B, 3C, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E	2C, 3C, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B	52
Somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição	1B, 2B, 2D, 3A		2A, 2D, 3A	1D, 2A, 2D, 4B, 5D	12
Existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais não é direta				1A, 1E, 2B, 2E, 2F, 3B, 5C	7
As massas das partículas são iguais	3B		1A, 1B, 1C, 1D, 5B, 5C, 5D		8
A massa molar corresponde à massa de uma partícula		1B, 1E, 2B, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 4B, 4C, 4E, 5C			12

Fonte: Autoria Própria.

Para o primeiro invariante operatório analisado “existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas”, consideramos então, as associações, nas respostas dos estudantes, entre estes aspectos, o que pode ser verificado nos exemplos de 1D, 4D, 2F e 2C:

(Resposta para APP01(d)) *“Não, pois cada átomo possui sua massa atômica. Logo em 18g de H₂O temos 6x10²³ moléculas de H₂O, já em 18g de HCl temos a metade” (1D)*

(Resposta para S05bP07(a)) *“Falso, um único átomo de carbono tem uma massa muito pequena. 12g de carbono 12 corresponde a uma quantidade muito grande de átomos” (4D)*

(Resposta para S06P02) *“Não. A massa molar das duas substâncias são diferentes, e considerando a proporção 1:1 de quantidade de matéria, não seria possível manter proporções” (2F)*

(Resposta para S06P03) *“Primeiro determina-se a quantidade de matéria de NaOH no volume titulante. Se em 1L tenho 0,10 mol, em 0,0134L tenho 0,00134mol de NaOH. Sabendo que a proporção da reação é de 1:1, 0,00134 mol de ácido é a quantidade da substância (em matéria) contido na amostra de vinho. Usando a relação g/mol (massa molar), é possível determinar a massa de ácido na amostra” (2C)*

Iniciando pelo estudante 1D foi possível verificar que, o estudante nega o fato de em uma mesma massa existirem a mesma quantidade de partículas para substâncias diferentes. Assim exemplifica que, em 18 g de água, por exemplo, *“temos 6x10²³ moléculas de H₂O”*, no entanto, se tivermos outro composto (no caso o HCl), a quantidade de partículas seria diferente, quando relevada a mesma massa. Neste caso associou a quantidade de partículas a uma massa (massa molar da água) com a massa de outra substância, o que pode indicar compreensão sobre esta relação. A mesma ideia se refere ao estudante 4D, quando justifica que um único átomo não possui uma massa tão elevada em gramas e que, sim, em uma quantidade em gramas *“corresponde a uma quantidade muito grande de átomos”*.

Na Situação 6 também tivemos condições de avaliar os invariantes operatórios sobre a massa molar e sua relação com um número finito de partículas. Nestes casos, ponderamos sobre a relação não nos componentes, mas entre os componentes. Assim, os estudantes que explicitaram este invariante operatório também traçaram relações entre a massa molar e a quantidade de partículas nos reagentes da reação. Logo, os estudantes 2F e 2D indicaram que as massas molares dos reagentes são diferentes, no entanto, existem relações em quantidade de partículas nos reagentes quando afirmam que a *“proporção 1:1 de quantidade de matéria”*

e “sabendo que a proporção da reação é de 1:1, 0,00134 mol de ácido é a quantidade da substância (em matéria) contido na amostra de vinho”.

Neste contexto, interpretamos que os estudantes conseguiam compreender que, a massa molar é a massa correspondente a um número de partículas, portanto que um átomo não pode conter a sua massa molar em gramas. Além disso, também demonstraram entender que estas relações se estendem para as reações químicas, nas relações entre os componentes da reação, aspectos estes que devem ser preconizados no entendimento do conceito de massa molar, como explicitado por Boujaoude e Barakat (2003).

Já outros invariantes operatórios foram mobilizados, em resposta às situações, em que as relações entre as massas molares e um número de finito de partículas não estavam correlacionados (parte branca do Quadro 28). Deste modo, por 12 vezes os estudantes mobilizaram o invariante operatório “somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição”, o que pode ser exemplificado nas respostas de 2A e 4B:

(Resposta para S06P02) *“Depende da quantidade de massa da base e de ácido, sendo assim a massa é proporcional, ou seja, se for colocado uma quantidade de ácido e outra de base e se dobrar a quantidade de ácido será dobrado a quantidade de base” (2A)*

(Resposta para S06P03) *“É possível determinar a massa de ácido tartárico através do experimento de titulação. Com o volume da alíquota, as proporções e a quantidade de NaOH utilizado, é possível fazer relações entre estes valores para se determinar a massa do ácido” (4B)*

Nestes exemplos, evidenciamos que os estudantes consideraram somente as variáveis experimentais para justificar a relação entre os componentes da reação, seja pelas massas, seja pelo volume. No caso do estudante 2A, não explicitou a que relação entre a quantidade de partículas é diferente da relação entre a quantidade de massa, o que poderia ser explicitado mediante a significação do conceito de massa molar. Já o estudante 4B, não esclareceu que a massa do ácido tartárico poderia ser determinada mediante relação entre a quantidade de partículas do ácido e da base e a massa referente a esta quantidade de partículas, associação essa, possível com o uso da massa molar. Logo inferimos que estes estudantes mobilizaram o invariante operatório “somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição”.

Em outros casos, os estudantes explicitaram a compreensão de relações entre a massa molar e a quantidade de partículas, mas tiveram problemas em associar estas informações as variáveis dos questionamentos. À vista disso, consideramos que o invariante operatório

“existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais não é direta” foi mobilizado nestas situações, como exemplificado nas respostas dos estudantes 1E e 3B:

(Resposta para S06P03) *"Sabendo a massa molar, o volume, e a concentração*

$$C = m/MM.V = 0,1 = m/150.0,002L \quad m = 0,3g \text{ do ácido.}$$

Assim consegue-se chegar quantos gramas do ácido" (1E)

(Resposta para S06P03) *"Para se determinar a massa é necessário encontrar o número de mols através da massa molar e calcular para o volume de 20mL. Pois conheço a concentração do NaOH. $C = m/v$ " (3B)*

Nestes contextos, os estudantes mencionaram a propuseram relações coerentes entre as massas molares e a quantidade de partículas, mediante o uso da unidade mol ou da concentração. Apesar disso, o estudante 1E utiliza uma fórmula pré-estabelecida e, apesar de considerar a massa molar do ácido, os dados utilizados na fórmula se referiam a outros componentes. Logo, utiliza, na mesma fórmula, a concentração da base, a massa molar do ácido tartárico e o volume de vinho que o continha. O mesmo invariante operatório foi mobilizado pelo estudante 3B quando explicou que, era possível encontrar a massa de ácido mediante a relação entre a quantidade de matéria e a massa molar. Contudo, indicou que, posteriormente era possível calcular a massa em 20mL da amostra do vinho, mas não se ateuve que a massa encontrada, perfazia-se, justamente, no volume de 20mL.

À vista disso, é preciso considerar que os estudantes se remeteram a certas relações, no entanto, não dispuseram de entrelaçamentos conceituais para que as informações dispostas fossem organizadas. Nesse sentido, Vergnaud (2004) sinaliza que o processo de conceitualização exige mais que o enfrentamento dos problemas, é necessário que estes problemas sejam resolvidos com base na formação dos conceitos a ele ligados.

Outro invariante mobilizado pelos estudantes faz menção sobre a não distinção entre as massas molares dos componentes em uma reação. Por consequência inferimos o invariante operatório “as massas das partículas são iguais”, como demonstrado nos exemplos de respostas dos estudantes 3B e 5B:

(Resposta para APP01(d)) *"Sim, se forma a mesma massa para todos, logo a capacidade molar será a mesma" (3B)*

(Resposta para S06P02) *"Sim, pois não importa se considerará a massa, o volume ou outra medida, a proporção sempre será 2:1, isso se deve ao fato que a quantidade de grupos reagentes será sempre a mesma, não havendo diferença em termos de considerar uma característica ou outra" (5B)*

Para o estudante 3B a massa é uma característica da partícula (átomo ou molécula), independentemente do elemento químico, logo, se tiver a mesma quantidade de partículas, a massa será a mesma. O estudante 5B afirmou que as proporções em massa e em quantidade de partículas são as mesmas, nesse sentido, só é possível fazer esta consideração se admitirmos que as massas sejam iguais.

Outro invariante operatório, que foi mobilizado por 12 vezes pelos estudantes, se remeteu a ideia de que a massa molar é a massa de uma partícula. Neste contexto, compreendemos que os estudantes estimaram relações entre esta forma de conceitualizar a massa molar, ou seja, a massa molar e um número finito de partículas, no entanto, não ponderaram sobre relações entre as dimensões da massa e a quantidade de partículas contidas nesta massa, como evidenciamos nas respostas de 1E e 2B:

(Resposta para S05bP07(a)) *“Verdadeiro, pois para o carbono 12 tenho 0,012kg que equivale a 12 gramas” (1E)*

(Resposta para S05bP07(a)) *“Verdadeiro. 1 átomo de carbono 12 equivale a 1 mol ou seja a quantidade de matéria presente em 1 átomo de carbono, assim a cada 1 átomo de carbono 12 equivale a 12g, o qual é a massa presente nesta quantidade de matéria” (2B)*

Neste sentido, os estudantes 1E e 2B explicitaram que a massa molar corresponde a massa de uma partícula, quando afirmaram que um átomo de carbono possui 12g. Por consequência, independe do nível de escolaridade, como discutido por Dahsah e Coll (2008) e Santos e Silva (2013; 2014), é comum os estudantes considerarem que a massa molar se refere à massa de uma partícula. Um dos motivos, para que ocorra esta ponderação, deve-se ao fato dos estudantes terem dificuldades em diferenciar massa molar de massa molecular, considerando por vezes estes conceitos como equivalentes (DAHSAH; COLL, 2008; SANTOS; SILVA, 2013; 2014).

Verificamos, assim, que várias relações entre a massa molar e um número finito de partículas foram estabelecidas pelos estudantes, seja quando consideraram a massa molar para a determinação da quantidade de matéria (mol), seja pela relação entre a massa molar e uma quantidade de partículas (por meio da constante de Avogadro). Mesmo estabelecendo estas relações outros invariantes operatórios foram mobilizados e que se referiram a não associação entre estes aspectos.

Tomar, desta forma, a massa molar e sua relação com um número finito de partículas, possibilitam compreender as relações entre o número de partículas (dado nem nível atômico) e certa quantidade desta substância (dado macroscópico). Além disso, é fundamental que se

compreenda que numa dada massa, se encerra quantidades diferentes de partículas de elementos distintos e, por outro lado, o mesmo número de partículas apresenta massas diferentes para distintos elementos, o que nem sempre foi observado nas respostas dos estudantes participantes desta investigação.

4.3.3 Considerações sobre o conceito de massa molar

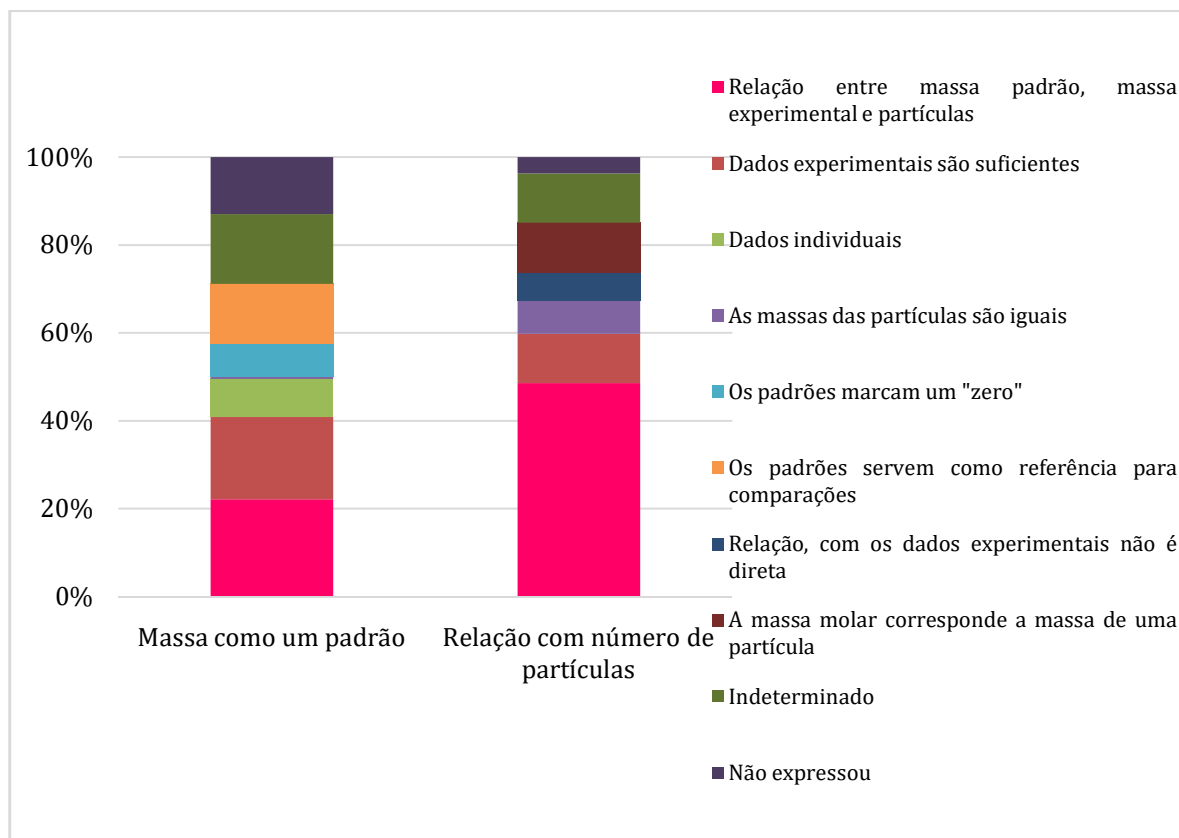
O conceito de massa molar, no que se refere às relações enquanto padrão de massa estabelecido ou enquanto a massa que contém um número finito de partículas, não se mostra trivial em seu processo de conceitualização. Na literatura, várias são as pesquisas que enfatizam a sua necessidade na compreensão da química, mas poucos discutem os aspectos de sua aprendizagem, ou seja, em que contextos os estudantes a utilizam, como usam a massa molar e ainda quais são as bases conceituais para a sua compreensão. Nesta perspectiva, consideramos relevante compreender como os estudantes de química conceitualizavam a massa molar em situações que necessitavam de sua compreensão, enfatizando duas dimensões: da massa molar como um padrão estabelecido e também como uma relação entre quantidades finitas de partículas contidas nesta massa.

Da massa molar como um padrão estabelecido, verificamos que uma parte dos estudantes (pouco mais que 20%) conseguiu, seja mediante os cálculos ou através de justificativas, expressar relações entre um padrão de massa estabelecido, as variáveis do problema e a quantidade de partículas, tanto nas reações quanto nas substâncias, o que pode ser observado na Figura 15. Em contrapartida, o invariante que remete as relações da massa molar com um número finito de partículas, foi mobilizado em quase 50% das respostas. Neste sentido compreendemos que, para os estudantes é mais usual pensar na massa molar e sua relação com um número de partículas, que a associar com um valor padronizado de massa, o que pode influenciar na mobilização de outros invariantes operatórios, como os que consideram a utilização somente das variáveis das situações (dados experimentais), invariante também mobilizado nas duas formas de expressar a massa molar analisadas por nós.

Também na forma de expressar a massa molar como um padrão estabelecido, os estudantes consideraram que as massas individuais eram suficientes para determinar a composição da substância (em torno de 8,5%). Por outro lado, quando avaliamos a massa molar em relação a um número finito de partículas, mobilizaram o invariante operatório das relações entre as massas molares, o número de partículas, mas sem vínculo direto com as

informações da situação (por volta de 6,5% das respostas). Ponderamos nestes casos que, os estudantes apresentaram estes invariantes em decorrência das dificuldades em estabelecer relações entre as informações teóricas, no caso as massas molares e as variáveis de cada situação, tanto no que diz respeito às composições das substâncias, quanto às relações entre as substâncias.

Figura 15: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar a massa molar



Fonte: Autoria Própria.

Nas duas formas de expressar a massa molar, também verificamos que os estudantes consideravam que partículas diferentes poderiam ter massas equivalentes, bem como que a massa molar corresponde à massa de uma partícula. Nestes dois contextos, inferimos que as dificuldades estavam associadas com pouca compreensão sobre o conceito de massa molar, ou seja, que a massa molar é uma relação entre uma massa padronizada, em gramas, e uma quantidade específica de partículas contidas nesta massa. Neste sentido, poucos se referiram à massa molar como um padrão estabelecido.

4.4 OS SÍMBOLOS QUÍMICOS NO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA

No contexto escolar, a leitura simbólica dos elementos, moléculas, átomos, íons, entre outros, também se faz presente. O estudo da química, sem o uso dessas representações, quase que se impossibilita, assim, espera-se que os estudantes tenham certa familiaridade com os aspectos relacionados à simbologia. A expectativa quanto ao uso desta vertente do conhecimento químico faz-se tão presente nas aulas que, por vezes, o ensino se baliza fortemente sob seu uso.

O entendimento da simbologia química se torna primordial na compreensão desta ciência, já que, ao nos referimos a qualquer conceito químico, é necessária certa familiaridade com esta linguagem. Assim, Jacob (2001) assume que:

O nível inicial de linguagem química contém símbolos químicos para substâncias e, à primeira vista, dificilmente se assemelha a uma linguagem moderna. O simbolismo químico tem suas próprias regras quanto ao uso operacional dos símbolos. O tratamento do simbolismo como linguagem implica, por exemplo, que é possível definir regras formais e semânticas para o uso de símbolos químicos. Esta escolha inicial - embora não inteiramente não problemática - permite a aplicação de conceitos linguísticos básicos a todos os níveis da linguagem química (JACOB, 2001, p.32, tradução nossa)⁵⁴.

Apesar da relevância, algumas pesquisas têm apresentado as dificuldades por parte dos alunos no domínio da temática, no que diz respeito às regras formais e compreensão conceitual dos símbolos. Como exemplo, Herron (1975) relata os entraves percebidos em seus estudantes. O autor indica que seus alunos não conseguiam diferenciar as representações do H^+ , H e H_2 quando questionados, mencionando poucas vezes as palavras íon, átomo ou moléculas às três espécies, não exprimindo diferenciação alguma nos símbolos.

Nesse sentido, Herron (1975) justifica a dificuldade de seus alunos pelos níveis de formação cognitiva necessários para compreensão da química. Como as representações não são entendidas em termos moleculares, os estudantes se utilizam desta simbologia de maneira

⁵⁴Citação original: The initial level of chemical language contains chemical symbols for substances and, at first glance, hardly resembles a modern language. *Chemical symbolism* has its very own rules regarding the operational use of symbols. Treatment of symbolism as language implies, for example, that it is possible to define formal and semantic rules for the use of chemical symbols. This initial choice – although not entirely unproblematic – permits the application of basic linguistic concepts to all levels of chemical language.

mecânica, não conseguindo então diferenciar a simbologia de uma molécula ou de um íon, por exemplo.

Yarroch (1985) entrevistou quatorze estudantes de química de duas escolas secundárias americanas, com o objetivo de compreender como alunos, já iniciados no conteúdo de balanceamento de equações químicas, realizavam o processo, o conhecimento empregado ao equilibrar as equações e suas representações para as equações balanceadas. Como resposta ao estudo, doze alunos foram capazes de equilibrar com êxito as quatro equações apresentadas, no entanto, sete dos doze alunos não foram oportunos em construir representações que fossem razoavelmente consistentes com a notação da equação. Segundo o autor, os estudantes que apresentaram dificuldades em construir as representações não compreendiam claramente os símbolos apresentados nas equações, pois confundiam, por exemplo, o significado dos números subscritos, mostrando incerteza se eles poderiam ser modificados ou não no processo de balanceamento. Para os pesquisadores, ficou claro que o processo de balanceamento, para alguns deles, tratava-se de igualar os símbolos, em vez de indicar os pressupostos de conservação das partículas. Assim, “possuíam o conhecimento mínimo necessário para manipular com sucesso os símbolos, mas não foram capazes de demonstrar que tinham conhecimento adicional sobre eles” (YARROCH, 1985, p. 457, tradução nossa)⁵⁵.

Já no ano de 1993, Keig e Rubba pesquisaram a temática dos símbolos, com o objetivo de caracterizar a habilidade de estudantes de química em traduzi-los no que diz respeito à estrutura da matéria. Os estudos preliminares, que consistiram na aplicação de atividades, avaliações, entrevistas, contaram com a participação de 82 estudantes de nível médio de uma escola dos Estados Unidos. Em meio às atividades, algumas substâncias consideradas de simples compreensão foram apresentadas, por exemplo, H_2O , CH_2O , N_2 , CO_2 , assim, os estudantes necessitavam, dentre outros afazeres, explicar as fórmulas químicas. Desta forma, os resultados deste estudo mostraram que os estudantes possuíam uma variedade de dificuldades integradas ao uso das fórmulas, como a associação de símbolos a elementos indistintos, a equivalência dos índices numéricos em diferentes compostos de mesma fórmula mínima, a aplicação dos subscritos ao elemento seguinte, ao invés do que o precede, além de atribuir ao numeral subscrito o papel de ligação dupla ou tripla, por exemplo. Neste sentido, Glazar e Devetak (2002) observaram que alguns estudantes eslovenos construíram fórmulas

⁵⁵Citação original: Did possess the minimal knowledge necessary to successfully manipulate the symbols but were not able to demonstrate that they held additional knowledge about the symbols.

problemáticas devido ao mal-entendido do papel dos números de oxidação e do significado dos prefixos (di-, tri-,...) em nome de compostos. Eles também mencionaram que alguns alunos utilizavam ânions e cátions errados na fórmula de um sal ou cometiam equívocos ao definir a carga de íons em um sal.

No Brasil, a temática também foi discutida em algumas investigações. Brito, Damasceno e Wartha (2008) realizaram uma pesquisa com um grupo de 46 estudantes de licenciatura em química, os quais necessitavam fazer o balanceamento e a representação de uma reação química. Das respostas apresentadas, houve o indicativo de que todos os alunos conseguiram balancear corretamente a equação, no entanto a representação foi feita de maneira insatisfatória. Os resultados desta pesquisa indicam que, apesar de os alunos expressarem corretamente os coeficientes da reação, eles não compreendiam o que isso de fato representava o que indica a tendência de que realizavam a operação de maneira algébrica, sem estabelecer relações com os modelos moleculares envolvidos na reação.

Outros estudos também indicam dificuldades com a simbologia no ensino e aprendizagem da química. Kiouranis, Batiston e Silva (2012) realizaram uma pesquisa com 81 alunos do terceiro ano do ensino médio a fim de investigar se esses alunos compreendiam alguns símbolos utilizados na química. Os resultados desta pesquisa mostraram que apenas 6 alunos conseguiram explicar corretamente o que a seta de reação retratava. No que diz respeito à representação de alguns compostos, 39 alunos conseguiram indicar corretamente o que a simbologia da água líquida representava, enquanto que para água sólida este número caiu para 28.

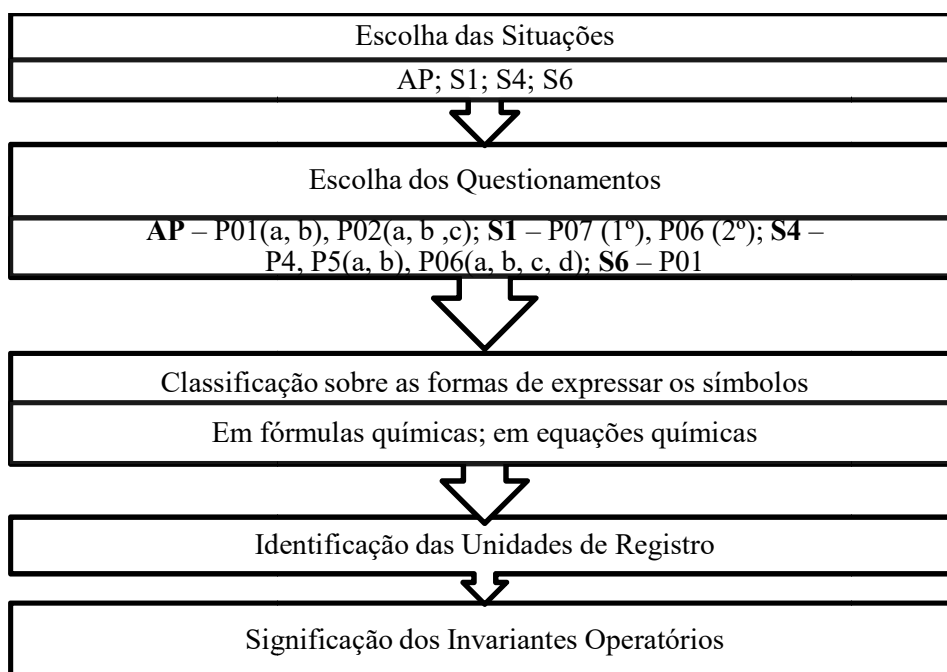
Com a expressão da necessidade corrente em compreender como a linguagem química e os símbolos se relacionam com os materiais envolvidos nos problemas teóricos de química, Gonzalez (2016) explorou a temática da simbologia com 8 alunos do curso de licenciatura de química da Universidade Federal da Bahia. Com relação a esta análise, a pesquisadora indicou que, apesar dos licenciandos conseguirem representar alguns símbolos pedidos, a maioria se baseou em regras para a formulação, o que posteriormente os impediu de explicar os fundamentos usados nos procedimentos de construção dos símbolos.

Considerando a importância dos aspectos simbólicos da química, buscamos compreender como os estudantes da Licenciatura em Química conceitualizavam, nas situações promovidas nesta investigação, alguns símbolos químicos. Neste sentido, percorremos todas as situações que apresentavam este foco explicitamente ou implicitamente, assim, a Situação 4 (S4) tinha como propósito direto a análise das respostas dos estudantes

sobre os símbolos químicos. Além desta situação, também procuramos avaliar as outras atividades e situações, o que fez a análise da Atividade Prévia (AP), Situação 1 (S1) e Situação 6 (S6). Por meio da análise, às respostas a estes questionamentos, buscamos as formas de expressar os símbolos, a saber: em fórmulas químicas; em equações químicas.

Por fim, avaliamos as respostas dos estudantes para identificação das unidades de registros a fim de promover as inferências a respeito dos invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes em resposta às atividades e situações. Logo, o processo de conceitualização no uso dos símbolos químicos, também percorrido neste estudo pode ser sintetizado na Figura⁵⁶ 16.

Figura 16: Sistematização do processo de análise dos resultados para os símbolos químicos



Fonte: Autoria Própria.

Por meio da categorização dos invariantes operatórios ponderamos sobre a sua frequência, em meio às respostas dos estudantes, o que será apresentado e discutido na sequência.

⁵⁶Todo o processo de categorização, para os símbolos químicos, encontra-se no Apêndice K.

4.4.1 Os símbolos químicos em fórmulas químicas

Herron (1975), Keig e Rubba (1993), Glazar e Devetak (2002) e Kiouranis, Batiston e Silva (2012), discutem que, nem sempre os estudantes compreendem os símbolos nas fórmulas químicas. Normalmente as dificuldades centram-se na pouca compreensão sobre os aspectos conceituais dos símbolos, como a diferenciação entre o conceito de átomo, molécula ou íon, a função dos subscritos nas fórmulas, o número e o estado de oxidação dos átomos, entre outros. Neste contexto, Vergnaud (1988) refere-se aos símbolos como uma forma de auxiliar na implementação de um esquema. Eles são mediadores do processo de conceitualização, porém, considera que o conteúdo de uma ciência não está contido nos símbolos, mas na relação entre os símbolos, as situações e o indivíduo que irá significar o conceito (VERGNAUD, 1991). Deste modo, somente a apreciação dos símbolos, pelos estudantes, ou somente a sua explicitação, não implicam, necessariamente a compreensão dos símbolos (apesar de ser um bom indicativo dos processos de conceitualização), logo, é necessário que se entenda, de fato, o contexto pelo qual o símbolo é utilizado.

Refletindo sobre estes aspectos, iniciamos nossa análise por meio de ponderações sobre os símbolos químicos em fórmulas químicas. Nesta forma de expressar os símbolos consideramos as situações em que os símbolos estivessem presentes, mas sem se correlacionar a outras fórmulas químicas, como em uma reação. Nesse âmbito foram selecionados os seguintes questionamentos: **AP – P01 (a): Explique o que cada símbolo representa. AP – P01 (b): Represente cada situação acima, supondo cada átomo como uma esfera. AP – P02 (b): Represente cada molécula acima, supondo cada átomo como uma esfera. S04 – P04: Considerando o composto acima formado (exercício 3), represente 3 partículas do mesmo utilizando a simbologia de Dalton. S04 – 05 (a): 1 partícula com 4 átomos de fósforo. S04 – 05 (b): 2 partículas formadas por 2 átomos de hidrogênio e 2 átomos de oxigênio.**

Em resposta a estes questionamentos obtivemos a mobilização de 3 invariantes operatórios (que foram agrupados de acordo com a sua ocorrência no Quadro 29):

- **Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa.** Para inferência deste invariante, consideramos as respostas em que os estudantes propunham considerações e representações coerentes, do ponto de vista químico, entre o símbolo e o contexto pelo qual estava inserido.

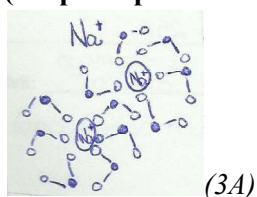
- **Moléculas e átomos configuram o mesmo tipo de partícula.** Na proposição deste invariante operatório, considerados as respostas em que os estudantes não estabeleceram diferenciação entre átomos e moléculas.
- **A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta.** Para este último invariante operatório, ponderamos sobre as respostas em que o símbolo e sua representação ou justificativa não coincidiam com seu significado.

Como demonstrado no Quadro 29, a maioria dos estudantes conseguiu, em algumas das situações propostas, estabelecer relações entre os símbolos e o que ele representa (parte acinzentada do quadro). Na Atividade Prévia pedimos que explicassem e representassem os símbolos indicados, focados nos contextos em que eles estavam contidos. Como tínhamos vários símbolos no mesmo questionamento, fizemos a análise de cada uma das justificativas e representações, assim, alguns alunos apresentaram invariantes operatórios diversificados em um mesmo contexto. Já na Situação 04, os símbolos estavam organizados em cada questionamento, desta forma, não tivemos inferências de diferentes invariantes operatórios para um mesmo estudante.

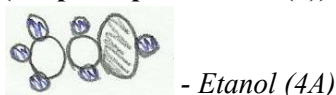
Logo, o invariante operatório “existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa” foi mobilizado por 120 vezes, em respostas as situações e atividades, como expressadas nas respostas dos estudantes 1A, 3A, 4A, 2C e 1E:

(Resposta para APP01(a)) “Água em estado sólido; água em estado gasoso; sódio; íon sódio em meio aquoso; ácido clorídrico em meio aquoso”
(1A)

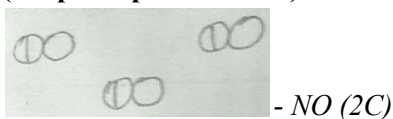
(Resposta para APP01(b))



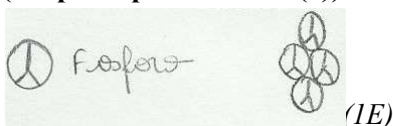
(Resposta para APP02(b))



(Resposta para S04P04)



(Resposta para S04P05 (a))



(Resposta para S04P05 (b))

Quadro 29: Invariantes operatórios expressados para os símbolos em fórmulas químicas

Invariantes Operatórios	AP – 01 (a)	AP – 01 (b)	AP – 02 (b)	S04 – 04	S04 – 05 (a)	S04 – 05 (b)	Total
Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa	1A, 1B, 1C, 1D, 1I, 2A, 2B, 2C, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1A, 1B, 1D, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1A, 1B, 1D, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1B, 2A, 2C, 2D, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D	1B, 1E, 2A, 2B, 2D, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5D	1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 2F, 2G, 2H, 3C, 4A, 4B, 4C, 5A, 5B, 5D	120
Moléculas e átomos configuram o mesmo tipo de partícula	1C, 1I	1C, 1D, 2E, 2G, 3C, 4B, 5C	2E, 3C		1C		12
A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta	1A, 1B, 1C, 1D, 2B, 2C, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5C, 5D	1A, 1B, 1D, 1I, 2B, 2G, 5C	1I, 3B, 5C	1A, 1D, 1I, 2B	1D, 1I, 2C, 3D, 5B	1D, 1E, 1I, 2D, 3A, 3B, 3D, 4D, 4E	50

Fonte: Autoria Própria.

Como exemplificado na resposta de 1A, os estudantes expressaram informações pertinentes sobre os símbolos propostos para análise da atividade. A maioria se concentrou em explicitar informações mais genéricas sobre os símbolos, evidenciando, por exemplo, o nome do componente químico e o seu estado de agregação. Logo, indicavam “*Água em estado sólido; água em estado gasoso*”, entre outros. Neste âmbito, consideramos relevante, mesmo que focados em aspectos mais genéricos dos símbolos, o reconhecimento dos símbolos em seus contextos (como da água em seus distintos estados físicos), pois, como salienta Kiouranis, Batiston e Silva (2012), nem sempre os estudantes estão habituados com os símbolos, mesmos os mais usuais como o da água.

Com relação às representações atreladas aos símbolos, também consideramos a mobilização do invariante operatório “existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa”. Ponderamos que não somente a “leitura” dos símbolos seria importante na compreensão do seu processo de conceitualização, mas também a sua representação, pois poderiam exprimir alguns invariantes operatórios, que não seriam explicitados nas leituras. Assim, avaliou-se que, o estudante 3A representou o íon sódio, rodeado por moléculas de água, já que o símbolo indicava o íon em meio aquoso. Apesar de estabelecer esta correlação entre o íon (de carga positiva) e o meio, notamos que as moléculas de água estão orientadas em torno do sódio, de forma que seus hidrogênios (que possuem cargas parciais positivas) estejam mais próximos do íon, logo, existe a relação entre o símbolo e sua representação, mas alguns aspectos conceituais interferiram na forma da representação.

Desta forma, para o processo de conceitualização dos símbolos químicos, é necessária a identificação destes símbolos, a formulação das representações, seja no âmbito da escrita ou da consciência e a significação dos conceitos atrelados a estas representações. Destarte Vergnaud (1998) afirma que,

Quando os invariantes operacionais são expressos e envolvidos em sistemas de conceitos e símbolos, o seu estado cognitivo muda, até o ponto em que os esquemas podem às vezes tornam-se algoritmos. Quando as propriedades relevantes dos objetos e operações matemáticas, envolvidas em ação, são explicitados, torna-se possível analisar suas conexões, e, eventualmente, demonstrar que um certo conjunto de regras, para uma determinada classe de situações, é eficaz (VERGNAUD, 1998, p. 176, tradução nossa)⁵⁷.

⁵⁷Citação original: When operational invariants are expressed and involved in systems of concepts and symbols, their cognitive status changes, up to the point that schemes can sometimes become algorithms. When the relevant properties of the mathematical objects and operations involved in action are made explicit, it becomes possible to analyse their connections, and eventually to demonstrate that a certain set of rules, for a certain class of situations, is effective.

Consideramos, deste modo, que a representação destes símbolos, pelos estudantes pode demonstrar como seus sistemas de conceitos se desenvolvem. Com isso, outro exemplo deste invariante mobilizado pelos estudantes nas representações, também se referiu à quantidade e distribuição dos átomos nas fórmulas, como exemplificado na resposta do estudante 4A, quando indica o número de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio compatíveis com a fórmula química. O mesmo foi expresso pelos estudantes 2C, 1E e 3C, com algumas diferenciações, como a quantidade de partículas (pedida na situação), mesmo quando as fórmulas químicas não eram compatíveis com a proposta (no caso do estudante 2C que determina a fórmula do composto como NO ao invés de NO₂).

Neste âmbito, Galagovsky e Giudice (2015) discutem que, os símbolos químicos possuem muitas restrições quanto à forma da escrita e pontuam algumas delas:

- a. Com letras, cada elemento químico é representado; o estado de oxidação pode ou não ser indicado.
- b. Os supra-índices com números e signos (mais ou menos), mostram os estados de oxidação, carga elétrica líquida para um átomo ou conjunto de átomos que formam íons.
- c. Os subscritos representam o número de átomos presentes em cada elemento químico.
- d. Parênteses indicam que o arranjo de átomos dentro deles forma uma espécie química.
- e. Subíndices à direita abaixo de um parêntese indicam o número de vezes que um subgrupo químico está presente na espécie química total.
- f. Os coeficientes representam o número de vezes que uma espécie química está presente na equação balanceada final. Os coeficientes devem ser inteiros (GALAGOVSKY; GIUDICE, 2015, p. 93, tradução nossa)⁵⁸.

As autoras também argumentam que, devido à pouca compreensão conceitual, sobre os símbolos químicos, é possível justificar as dificuldades dos estudantes em expressar e explicar os seus significados (GALAGOVSKY; GIUDICE, 2015). Desse modo, os estudantes expressaram, por 50 vezes, o invariante operatório “a relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta”. O estudante 4E, como exemplificado na resposta a diante, explica

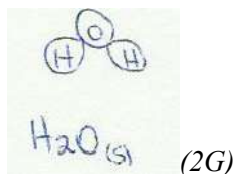
⁵⁸Citação original: **a.** Con letras se representa cada elemento químico; puede o no indicarse estado de oxidación. **b.** Los supraíndices con números y signos (más o menos), muestran estados de oxidación, carga eléctrica neta para un átomo o conjunto de átomos que forman iones. **c.** Los subíndices representan el número de átomos presentes de cada elemento químico. **d.** Paréntesis indican que el arreglo de átomos encerrados en él forman una especie química. **e.** Subíndices a la derecha abajo de un paréntesis indican el número de veces que un subgrupo químico está presente en la especie química total. **f.** Los coeficientes representan el número de veces que está presente una especie química en la ecuación balanceada final. Los coeficientes deben ser números enteros.

que os símbolos representam “*uma molécula de [...]*”, mesmo notando o estado de agregação destas partículas, seja sólido, gasoso, ou outro, ainda compreendeu que o estado físico pode ser representado por uma única molécula. Desta mesma forma, o estudante 2G representou a água sólida com uma única partícula. Por isso, consideramos a mobilização deste invariante operatório.

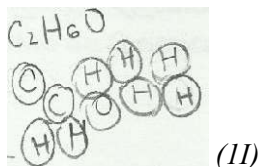
(Resposta para APP01(a)) “*Representa uma molécula de água no estado sólido; Representa uma molécula de água no estado gasoso; Representa uma molécula de ácido clorídrico no estado gasoso*” (4E)

(Resposta para APP01(a)) “*(Na) ânion; cátion; ácido clorídrico gasoso*” (3C)

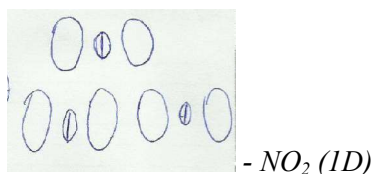
(Resposta para APP01(b))



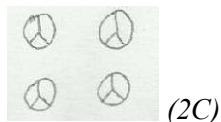
(Resposta para APP02(b))



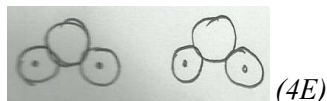
(Resposta para S04P04)



(Resposta para S04P05 (a))



(Resposta para S04P05 (b))



Quanto as explicações referentes aos outros símbolos químicos, notamos que a maioria dos estudantes se referiram ao cloreto de hidrogênio gasoso ($\text{HCl}(\text{g})$) como ácido clorídrico gasoso. Também confundiram termos como ânions, cátions ou atribuíram outras nomenclaturas a certos compostos, como exemplificado na resposta do estudante 3C. Também, para este invariante, consideramos as representações em que os estudantes

atribuíam quantidades diferentes de átomos para os símbolos, como exemplificado na resposta do estudante 1I.

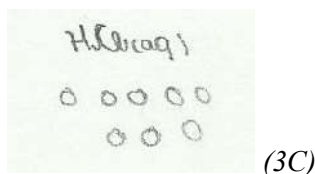
Com relação à Situação 4, notamos que os estudantes não consideraram a quantidade de partículas, mesmo relevando a quantidade de átomos, como exemplificado nas respostas de 1D e 2C. Nestes casos, ponderamos a dificuldade na compreensão do termo partícula, que pode ter sido interpretado como átomos pelos estudantes, assim como evidenciado por Herron (1975). Já o estudante 4E também não considerou a quantidade de átomos.

O invariante operatório “moléculas e átomos configuram o mesmo tipo de partícula” também foi mobilizado pelos estudantes, em resposta as situações. Nestes contextos, os estudantes, nas explicações aos símbolos, expressaram, por exemplo, que a água era composta por “*duas moléculas de Hidrogênio e 1 de Oxigênio*”, como evidenciado na resposta de 1C:

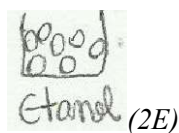
(Resposta para APP01(a)) “*Água (duas moléculas de Hidrogênio e 1 de Oxigênio) no estado sólido*” (1C)

No que diz respeito às representações, também inferimos este invariante, já que os estudantes expressaram as moléculas (compostas por vários átomos) somente com uma esfera, o que pode ser visualizado nas respostas de 3C e 2E:

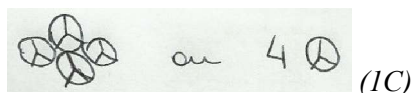
(Resposta para APP01(b))



(Resposta para APP02(b))



(Resposta para S04P05 (a))



Já o estudante 1C se referiu a duas possíveis formas de representação (como molécula ou átomos).

4.4.2 Os símbolos químicos em equações químicas

Yarroch (1985), Brito, Damasceno e Wartha (2008) discutem a temática dos símbolos químicos nas equações químicas, mais especificamente o balanceamento das equações. Neste âmbito, os autores afirmam que os estudantes, em geral, têm facilidade em operar com os símbolos químicos, no entanto, a representação das equações químicas nem sempre é compatível com os símbolos utilizados e que as dificuldades se referem a não compreensão numérica dos símbolos, que se baseia em questões conceituais. Taber (2009) indica algumas das justificativas que ocasionam estas dificuldades, pois os estudantes não possuem:

- Forte familiaridade com o simbolismo;
- Uma compreensão teórica sólida dos princípios conceituais que são assumidos ou estão implícitos quando se utilizam as representações simbólicas; e
- Um amplo repertório de química que lhe seja familiar para se recorrer em exemplos e referências para as representações simbólicas (TABER, 2009, p.77, tradução nossa).⁵⁹

Deste modo, também consideramos relevante compreender como os estudantes expressariam seus conhecimentos, sobre os símbolos, em algumas equações químicas. Diferentemente dos símbolos, expressados somente de maneira “isolada”, refletimos que, esta outra forma de expressar os símbolos poderia se diferenciar, pois, é necessário entender as relações entre diferentes componentes químicos, para que a equação seja escrita.

Neste sentido, focamos na aplicação de uma das situações (Situação 4) de modo que os estudantes pudessem expressar, mediante representação, seu entendimento sobre os símbolos químicos em equações. Além disso, procuramos evidenciar em outras situações ou atividades a presença destes símbolos em equações, mesmo que nestes contextos o tema não fosse o foco.

Selecionamos assim, para análise, além da Situação 4 (S4), a Atividade Prévia (AP) e as Situações 1 e 6 (S1 e S6). Desta escolha, as respostas, aos seguintes questionamentos foram avaliadas: **AP – P02 (a): Escreva a equação química desta reação. AP – P02 (c): Usando as representações das moléculas criadas acima, escreva a reação de combustão do etanol. S01 – P07: Indique algum ácido e base que poderia ser usado como exemplo**

⁵⁹Citação original: • a strong familiarity with the symbolism; • a sound theoretical grasp of the conceptual principles that are assumed/implicit when using the symbolic representations; and • a wide repertoire of familiar chemistry to draw upon as exemplars and referents for the symbolic representations.

nesse experimento. Se possível forneça a reação entre eles. S01 – P06: Indique algum ácido e base que poderia ser usado como exemplo nesse experimento. Forneça a reação entre eles. S04 – P06 (a): Combinação do gás oxigênio (O_2) com enxofre (S) para formar o trióxido de Enxofre (SO_3). S04 – P06 (b): Combinação do gás oxigênio (O_2) com ferro (Fe) para formar o óxido de ferro III (Fe_2O_3). S04 – P06: (c) Combinação do produto do item a com o produto do item b. S04 – P06 (d): Combinação do gás oxigênio (O_2) com metano (CH_4) para formar o dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O). S06 – P01: Considerando o ácido tartárico ($HOCCH(OH)CH(OH)COOH$), que é um dos componentes do vinho branco, e o hidróxido de sódio (NaOH), explique qual a proporção em quantidade de matéria, existente entre essas duas substâncias em uma reação entre eles.

Mediante análise das respostas, inferimos 3 possíveis invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes: “**existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa**”, “**existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química**” e “**a relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta**”. A ocorrência dos invariantes operatórios foi apresentada no Quadro 30.

No tocante ao invariante operatório “**existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa**”, mobilizado por meio das situações propostas, foi possível verificar que a maioria dos estudantes apresentaram, de forma coesa, para alguma das situações, as relações referentes aos símbolos e representações, entre os componentes nas equações químicas. Também constatamos que este invariante operatório teve maior expressão nos questionamentos em que as equações eram expressas por meio dos símbolos (como na Atividade Prévia, questão 2 (a)), que, quando comparados as representações. O mesmo ocorreu quando as relações entre os componentes eram de proporção 1:1, comparando com as de relação 2:1, por exemplo.

Neste sentido, Vergnaud (1996a) considera que um mesmo conceito pode ser representado de diferentes maneiras e que a pertinência de um símbolo está atrelada ao entendimento e desenvolvimento cognitivo do aluno. Logo, estas duas formas de demonstrar uma equação química (símbolos e representação) podem não ser equivalentes para os estudantes e dependerão da compreensão e do quão os esquemas referentes aquela linguagem estão ampliados.

Quadro 30: Invariantes operatórios expressados para os símbolos em equações químicas

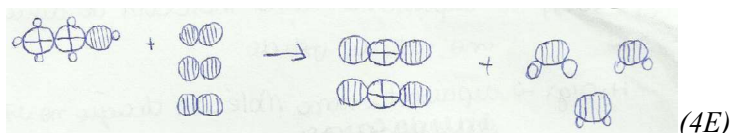
Invariantes Operatórios	AP – 02(a)	AP – 02 (c)	S01 – 07	S01 – 06	S04 – 06 (a)	S04 – 06 (b)	S04 – 06 (c)	S04 – 06 (d)	S06 – 01	Total
Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa	1A, 1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2D, 2G, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	2A, 2C, 2D, 3A, 4A, 4C, 4E, 5A, 5B, 5D	1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C, 4D, 5A, 5B, 5C, 5D	1A, 1E, 2D, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C, 4D, 5A, 5D	1B, 2A, 2C, 2F, 2H, 2J, 3A, 3C, 4A, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D	1B, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D	2A, 2B, 2C, 2J, 3A, 3C, 3D, 4A, 4C, 4E, 5A, 5D	1B, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3C, 4A, 4C, 4E, 5A, 5B	2D, 3A, 3B, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B	130
Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química	1B, 2B, 2E, 2F, 2H, 3E	1D, 3B, 2F, 2H, 3B, 3D, 4D		1B, 1D, 2C, 2G, 4E, 5B	2B, 2G	2G, 2J	2G	2A, 3B, 3D	1C, 2B, 2C, 2F, 3C, 5D	33
A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta		1I, 2E, 3C, 5C		2A, 2B, 2H	1A, 1C, 1D, 1E, 1I, 2D, 3B, 3D, 4B, 4C	1A, 1C, 1D, 1E, 1I, 2E, 3B, 3D, 4B	1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2D, 2H, 3B, 4B, 4D, 5B	1A, 1C, 1D, 1E, 1I, 2G, 3A, 4B, 4D, 5D	1A, 1B, 4B	51

Fonte: Autoria Própria.

Apreciadas as respostas dos estudantes, consideramos que, alguns deles foram capazes de se expressar sobre estas duas formas, ponderando, sobre vários aspectos dos componentes das reações, o que pode ser evidenciado nas respostas dos estudantes 1C, 4E, 3A, 5A, 1B e 5B:

(Resposta para APP02(a)) “ $C_2H_6O + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$ ” (1C)

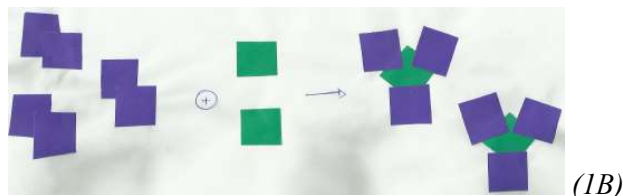
(Resposta para APP02(c))



(Resposta para S01P07) “ $HCl + NaOH \rightarrow H_2O + NaCl$ ” (3A)

(Resposta para S01P06) “ $H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$ ” (5A)

(Resposta para S04P06(a))



(Resposta para S06P01) “O ácido tartárico possui 2 grupos da função ácido carboxílico enquanto o hidróxido de sódio possui apenas 1 grupo hidroxila, dessa forma, considerando que 1 grupo ácido é neutralizado por 1 grupo básico, então, em uma reação de neutralização, teremos uma proporção de 2NaOH para cada ácido tartárico” (5B)

Analisadas as equações, apresentadas pelos estudantes 1C, 3A e 5A, foi possível perceber que estabeleceram relações coerentes entre as fórmulas químicas, no que diz respeito ao uso dos símbolos e suas associações em quantidades, tanto em termos de átomos quanto em termos de moléculas. No questionamento da Atividade Prévia, os alunos tinham em mãos as fórmulas químicas, mas precisavam representar a equação referente à reação entre estes compostos. Deste modo, a maioria estabeleceu, minimamente, este vínculo. Já na Situação 1, pedimos que dessem exemplos de ácidos e bases que reagissem nas proporções 1:1 e 1:2, respectivamente, com o objetivo de verificar se recordariam de reagentes que tivessem estas características, bem como, se expressariam, por meio dos símbolos estas reações, o que pode ser destacado nas respostas de 3A e 5A.

Para este mesmo invariante operatório, consideramos as respostas em que os estudantes apresentaram, por meio de representações, as relações entre os símbolos e o que eles retratam (como exemplificado nas respostas dos estudantes 1B e 4E), além das explicações que também indicavam relações coesas entre os símbolos e a equação, como no

caso do estudante 5B que discutiu a relação entre a quantidade de grupos básicos necessários para neutralizar os grupos ácidos.

Neste âmbito, consideramos que os estudantes ponderaram sobre vários aspectos das reações químicas, mediante o uso dos símbolos ou representações, que segundo Galagovsky e Giudice (2015), também possuem algumas especificidades quanto a sua escrita:

- Uma alteração química envolve rearranjos na combinação de elementos químicos, com ou sem transferência de elétrons entre espécies químicas reativas; é identificado como uma reação química.
- Uma reação química é escrita por uma equação química balanceada.
- Os reagentes estão escritos no lado esquerdo da equação química balanceada e os produtos no lado direito; uma seta para a direita indica o processo de reação entre reagentes e produtos.
- Para cálculos estequiométricos, a seta significa reação irreversível e total (reagentes tornam-se 100% produtos).
- A equação química balanceada não permite excesso de reagentes ou produtos.
- Na equação química balanceada, a massa é conservada: o número de vezes em que cada elemento químico é encontrado como reagente ou produto, independentemente de seu estado de agregação.
- Uma equação química balanceada deve mostrar a proporção mínima de coeficientes que permite preservar o número total de cada tipo de átomo envolvido na reação química (GALAGOVSKY; GIUDICE, 2015, p. 93, tradução nossa)⁶⁰.

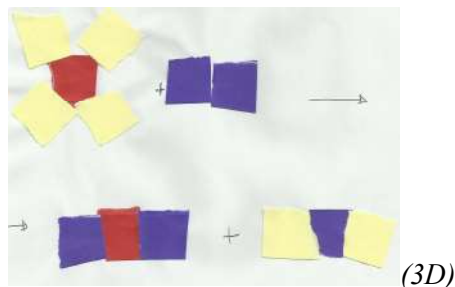
Por outro lado, o invariante operatório **“existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química”** foi considerado quando os estudantes expressavam, de forma coesa, os símbolos dos componentes da reação, mas não os coeficientes da equação, o que pode ser evidenciado nas respostas dos estudantes 2E, 4E, 3D e 5D.

⁶⁰Citação original: • Un cambio químico implica reordenamientos en la combinación de elementos químicos, con o sin transferencia de electrones entre especies químicas reactivas; se identifica como reacción química. • Una reacción química se escribe mediante una ecuación química balanceada. • Los reactivos se escriben en la parte izquierda de la ecuación química balanceada y los productos en la parte derecha; una flecha hacia la derecha indica el proceso de reacción entre reactivos y productos. • Para los cálculos estequiométricos la flecha significa reacción irreversible y total (reactivos se convierten en productos en un 100%). • La ecuación química balanceada no admite exceso de reactivos o de productos. • En la ecuación química balanceada se conserva la masa: el número de veces en que se encuentra cada elemento químico como reactivo o producto, independentemente de su estado de agregación. • Una ecuación química balanceada debe mostrar la mínima proporción de coeficientes que permitan conservar el número total de cada tipo de átomos involucrados en la reacción química.

(Resposta para APP02(a)) “ $C_2H_6O + O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$ ” (2E)

(Resposta para S01P06) “ $H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$ ” (4E)

(Resposta para S04P06(d))



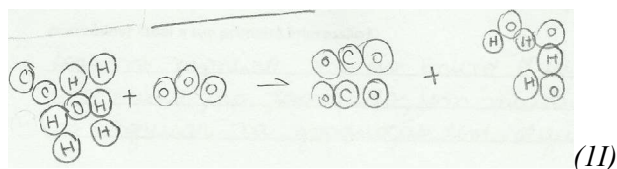
(Resposta para S06P01) “ $C_4H_6O_6 + NaOH \rightarrow C_4H_5O_6^- Na^+ + H_2O$ A proporção é 1:1, pois ao montar a reação podemos perceber que é necessário um mol do ácido e um mol da base para se formar um mol do sal e um mol da água” (5D)

Nos exemplos de respostas dos estudantes 2E e 4E, foi possível perceber que apresentam adequadamente os símbolos de cada um dos componentes da reação, com número de átomos adequados, no entanto, não estabelecem relações proporcionais adequadas em termos de moléculas. Percebe-se que, para estudante 2E o número de oxigênios nos reagentes é menor que o número de oxigênios nos produtos (3 nos reagentes e 7 nos produtos). Já o estudante 4E também mantém a reação com quantidades desiguais de hidrogênio e oxigênio dos reagentes para os produtos. Dessa forma, quando as relações entre os componentes não estão expressas, considera-se que, dentre as especificidades de escrita das equações químicas, salientadas por Galagovsky e Giudice (2015), ao menos 5 delas são inexploradas pelos estudantes, como a proporção mínima entre os componentes da reação, o excesso de reagentes ou produtos na equação química.

O mesmo ocorreu com as representações das equações, mediante o uso dos cartões coloridos (como exemplificado na representação de 3D). Alguns estudantes se atentaram para composição das substâncias, mas não em estabelecer relações entre os reagentes e produtos, o que acarretou num desequilíbrio entre as quantidades de cartões azuis e amarelos. Em outros contextos, o invariante operatório “existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química” também foi considerado para as respostas em que os estudantes indicaram quantidades não equivalentes entre os reagentes, consequentemente para os produtos, pois entenderam que a relação deveria ser expressa em proporções 1:1 (como exemplificado na resposta do estudante 5D).

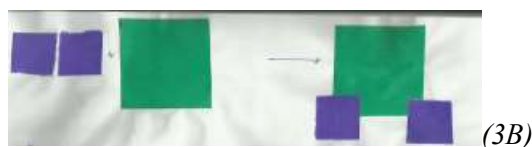
O invariante operatório “a relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta” também foi mobilizado por 51 vezes pelos estudantes. Nestes casos existiam algumas inconsistências, quanto à escrita dos símbolos ou representação da equação química, sendo que a maioria delas estava centrada nas representações. A expressão deste invariante pode ser exemplificada pelas respostas de 1I, 2H e 3B:

(Resposta para APP02(c))



(Resposta para S01P06) “ $H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow 2H_2O + NaSO_4$ ” (2H)

(Resposta para S04P06(a))



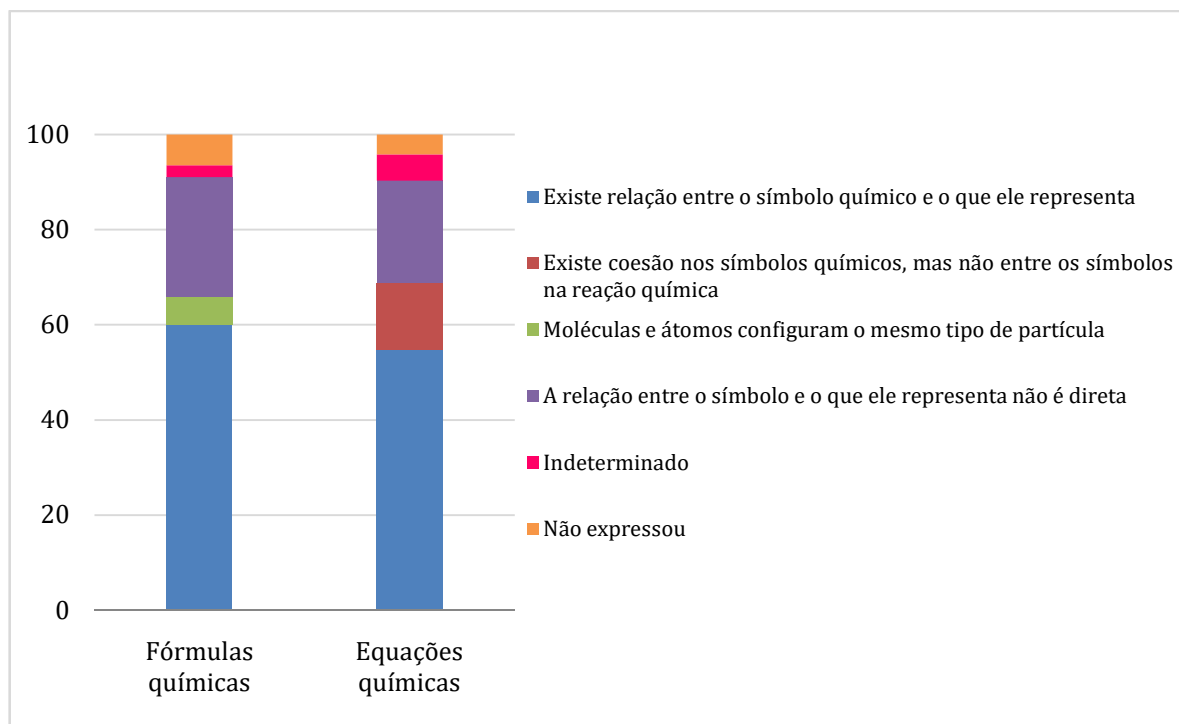
Na representação do estudante 1I foi possível verificar que a molécula de O_2 foi apresentada com 3 átomos de oxigênio e a molécula de água (nos produtos) foi indicada com associação de, provavelmente 3 moléculas. Neste exemplo, percebemos que o estudante não fez distinções entre os coeficientes da reação e os índices dos componentes, já que a reação balanceada pode ser expressa por $C_2H_6O(l) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$. Com relação ao estudante 2H, evidenciou-se que não apresentou o índice do sal formado pela neutralização do ácido, o que pode ser explicado pela dificuldade em compreender que as cargas também são conservadas em uma reação química. Por fim, o estudante 3B apresenta representação adequada do ponto de vista da conservação das partículas, mas na situação se considerava a formação do gás trióxido de enxofre (SO_3), assim a representação não coincide com o símbolo especificado.

4.4.3 Considerações sobre os símbolos químicos

Os símbolos químicos, quanto a suas formas de expressão, foram avaliados nesta investigação e, se revelaram sob diversas perspectivas. Quando consideramos os símbolos de maneira “isolada” podemos perceber que os estudantes tiveram mais familiaridade em lidar com estes códigos, seja nas fórmulas químicas ou nas equações que representam as reações, o que pode ser evidenciado na Figura 17, já que, o invariante operatório “existe coesão nos

símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química” indicou que as expressões para os símbolos, em termos de fórmulas, estavam adequadas.

Figura 17: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar os símbolos



Fonte: Autoria Própria.

Para o invariante operatório em que as expressões quanto aos símbolos e representações estavam adequadas, notamos que os estudantes foram capazes de identificar os símbolos químicos, exprimir, por vezes, os estados de agregação e pronunciar a quantidade de átomos e moléculas e suas relações nas fórmulas e equações químicas, o que corresponde a 60% das respostas para as fórmulas químicas e perto de 55% para as equações químicas. No entanto, as demais respostas se remetiam a alguns problemas que, por conta deles foram inferidos os outros invariantes operatórios.

Na mobilização dos demais invariantes operatórios, constatamos que os estudantes tiveram dificuldades em diferenciar, por meio dos símbolos, representações e justificativas os conceitos de moléculas, átomos e partículas, o que auxiliou na expressão do invariante “moléculas e átomos configuram o mesmo tipo de partícula”. Também apresentaram confusões na diferenciação entre os índices e coeficientes das equações químicas, especialmente nas representações com os desenhos e cartões, o que auxiliou na explicitação do invariante operatório “existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química”.

Sobretudo, um número considerável de estudantes (25% para as fórmulas e 22% para as equações) mobilizou nas respostas em algumas das situações, o invariante operatório “a relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta”, em que a explicação, símbolo ou representação não eram coesos com os significados dos símbolos químicos, seja nas fórmulas ou equações, apresentando mais dificuldades em relações em que a proporção não era 1:1 nas equações químicas.

Ponderamos assim que o processo de conceitualização passa pela identificação dos símbolos, elaboração de representações, sejam mentais ou no âmbito da escrita e assim, a significação dos conceitos, não em uma sequência linear, mas com o entrelaçamento destes aspectos. Alguns dos invariantes mobilizados pelos estudantes refletiram mais estas relações que outros.

4.5 O MOL E A CONSTANTE DE AVOGADRO NO PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA

Outro conceito muito importante no ensino de estequiometria é o da grandeza quantidade de substância e sua unidade, o mol. Atualmente, o mol é definido como: “o mol, símbolo mol, é a unidade do SI para quantidade de substância. Um mol contém exatamente $6.02214076 \times 10^{23}$ entidades elementares. Este número é o valor numérico fixo da constante de Avogadro, N_A , quando expresso em mol^{-1} , é chamado de número de Avogadro” (MARQUARDT, et al., 2018, p. 176, tradução nossa)⁶¹. Já a quantidade de substância é definida pela IUPAC como “a quantidade de substância, símbolo n , de um sistema é uma medida do número de entidades elementares especificadas. Uma entidade elementar pode ser um átomo, uma molécula, um íon, um elétron, qualquer outra partícula ou grupo de partículas especificado” (MARQUARDT, et al., 2018, p. 176, tradução nossa)⁶².

Segundo Furió, Azcona e Guisasola (2002), a importância da unidade mol recai sobre o fato de que não é possível manipular, diretamente, entidades elementares, como átomos, moléculas e íons, e, em termos experimentais, tratamos de massa, volumes. Nesse contexto, as

⁶¹Citação original: The mole, symbol mol, is the SI unit of amount of substance. One mole contains exactly $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ elementary entities. This number is the fixed numerical value of the Avogadro constant, N_A , when expressed in mol^{-1} , and is called the Avogadro number.

⁶²Citação original: The amount of substance, symbol n , of a system is a measure of the number of specified elementary entities. An elementary entity may be an atom, a molecule, an ion, an electron, any other particle or specified group of particles.

reações químicas são interpretadas em termos de partículas, em sua modificação, combinação, mas a manipulação destas entidades dá-se em relação aos seus aspectos macroscópicos, assim, a unidade mol possibilita que se estabeleçam correlações entre aspectos mensuráveis (como a massa e o volume), com os não mensuráveis (átomos, íons, elétrons). Estas correlações podem ser estabelecidas mediante a relação entre a quantidade de matéria e as entidades elementares, já que 1 mol contém $6.02214076 \times 10^{23}$ entidades elementares, como especificados pela IUPAC, entre a quantidade de matéria e a massa molar, pois em 1 mol temos a massa do composto químico em gramas, entre o volume de gases nas CNTP (Condições Normais de Temperatura e Pressão) e a quantidade de matéria, já que 1 mol tem 22,4L de gases.

Em meio a estas relações, e também devido ao conceito inicial de mol adotado por Ostwald, quando se referia ao mol como a massa normal de uma substância em gramas, até a ideia atual (JENSEN, 2004, PADILLA; FURIÓ, 2008), algumas concepções sobre esta unidade estão diretamente ligadas à ideia de que o mol pode ser sinônimo de volume, massa das substâncias em gramas, de quantidade de partículas ou mesmo de uma molécula (SOARES, 2006; DAHSAH; COLL, 2007; SANTOS; SILVA, 2014).

O estudo realizado por Furió, Azcona e Guisasola (1999) mostra a dificuldade encontrada por professores, universitários, de ensino secundário e de bacharelado em conceituar o mol. Dos 89 professores entrevistados, mais de 50% definiu o mol como unívoco de massa, assim como o conceito inicial, delimitado por Ostwald e mais de 20% atribuiu o significado como unívoco a entidades elementares.

Já Rogado (2000; 2005), que pesquisou professores brasileiros de diversos níveis de ensino de química (alunos de cursos de licenciatura em química, professores em exercício no ensino médio e professores formadores, atuantes em curso de licenciatura em química), também constatou que a maioria dos professores desconhecia a grandeza quantidade de matéria, e sua unidade o mol, utilizando o "número de mols" em seu lugar, atribuindo-lhe a ideia de uma "massa química" ou um "número de Avogadro" de entidades elementares (ROGADO, 2005).

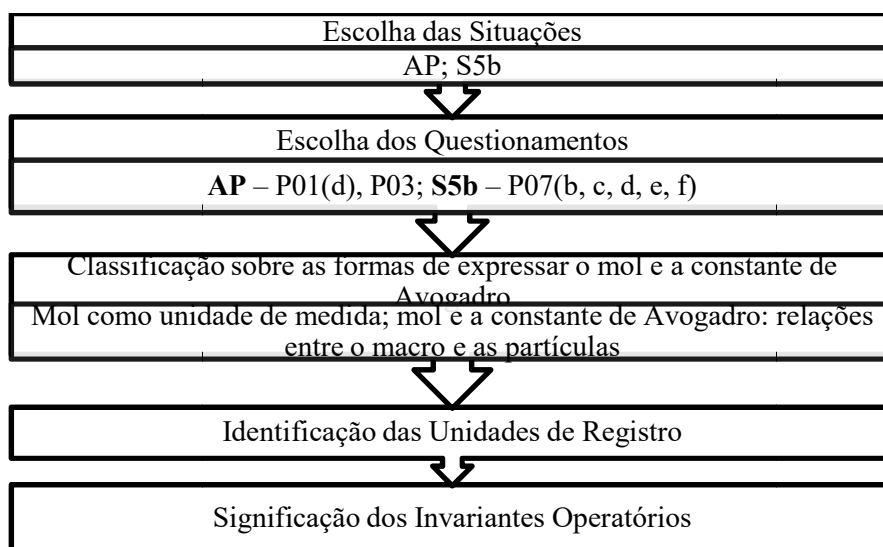
Nesse mesmo viés, Colagrande (2008) evidenciou tais dificuldades, tanto em professores, quanto em alunos do ensino médio. Os quatro docentes pesquisados se referiam ao mol como uma quantidade fixa de substância. Além da compreensão do termo, Colagrande (2008) também questionou sobre os pré-requisitos essenciais, no entender dos professores, para se compreender o mol, sendo listadas por eles, as operações com algoritmos, a

simbologia química, contidas nas fórmulas, ou na identificação de uma substância simples ou composta.

Destarte, ao longo do desenvolvimento da compreensão da magnitude da quantidade de matéria e sua unidade o mol, várias concepções são evidenciadas em estudos preocupados com a temática. De fato, esta unidade é utilizada em variadas circunstâncias na química, mas, com relação à estequiometria, este conceito torna-se relevante, pois é por seu intermédio que se pode transitar entre os níveis atômicos e observáveis, o que torna possível o estabelecimento de relações entre partículas, massas, volumes, nas reações químicas (FACH; DE BOER; PARCHMANN, 2007; DAHSAH; COLL, 2007).

Considerando esta relevância, preocupamo-nos em compreender, neste estudo, como os estudantes participantes conceitualizavam a unidade mol, bem como como esta conceitualização poderia influenciar na compreensão da estequiometria. Para isso, buscamos percorrer todas as situações as quais o mol se pronunciava, ou poderia se pronunciar. Assim, tínhamos na Situação 5 um foco específico no conceito de mol, mas também utilizamos a Atividade Prévia (AP) para tal análise. Por meio desta situação e atividade, foi possível classificar as respostas sobre duas formas de expressar a unidade mol: mol como unidade de medida e mol e a constante de Avogadro: relações entre o macro e as partículas. Isto posto, buscou-se nas justificativas dos estudantes sobre os questionamentos, identificar as unidades de registro, para que pudessem ser depreendidos os significados e, por fim, a categorização dos invariantes operatórios, como sistematizado na Figura 18⁶³:

Figura 18: Sistematização do processo de análise dos resultados para a unidade mol



Fonte: Autoria Própria.

⁶³Todo o processo de categorização, para a unidade mol, encontra-se no Apêndice L.

Com a significação dos invariantes operatórios foi possível verificar sua ocorrência, quanto ao aparecimento nas respostas dos estudantes, o que será discutido na sequência.

4.5.1 O mol como uma unidade de medida

O mol como uma unidade de medida para a grandeza quantidade de matéria foi adotada em meados de 1960 pela IUPAP (União Internacional de Física Pura e Aplicada) e IUPAC, no entanto, apesar das diversas mudanças, com o objetivo de clarificar seu significado (ROGADO, 2004), ainda existem diversas concepções sobre o seu conceito. Neste sentido, buscamos compreender como os estudantes responderiam a questionamentos que se referiam à unidade mol e, para tal, selecionamos os seguintes questionamentos ou afirmações para que pudessem ser avaliadas pelos estudantes: **AP – P03: Explique o que significa mol. Que relação existe entre 1 mol de água e 1 mol de ferro? S05b – P07 (d): O mol é a massa molar em gramas. S05b – P07 (e): O mol é a unidade de quantidade de substância. S05b – P07 (f): Mol é a massa (em gramas) numericamente igual a massa molecular relativa de uma substância.**

Em resposta a estes questionamentos, inferimos 4 possíveis invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes (que foram agrupados de acordo com a sua ocorrência no Quadro 31):

- **O mol é uma unidade de medida.** Para este invariante operatório consideramos as respostas em que os estudantes se referiam ao mol como uma unidade para a quantidade de substância.
- **Relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol.** Para este invariante operatório ponderamos sobre as respostas em que os estudantes consideravam o mol como uma forma de relacionamento entre os aspectos macro e atômico.
- **O mol é a massa molar.** Nestes casos, inferimos o invariante a partir de respostas que consideravam o mol como análogo a massa molar.
- **O mol é um número definido de partículas.** Para este invariante operatório, ponderamos sobre as respostas em que os estudantes afirmavam ou teciam considerações sobre o mol ser um número definido de partículas.

Com relação ao primeiro invariante operatório analisado, verificamos que os estudantes o mobilizaram por 13 vezes, em resposta aos questionamentos, sendo o invariante com menor expressão dentre todos.

Quadro 31: Invariantes operatórios expressados para mol como unidade de medida

Invariantes Operatórios	AP – 03	S05b – 07(d)	S05b – 07(e)	S05b – 07(f)	Total
O mol é uma unidade de medida	3A, 4C, 4E, 5B	1C, 4E, 5B	2G, 3A, 4C, 4E, 5B	1C	13
Relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol	3A, 4C, 4E, 5B	2D, 3A, 5A	2D, 2F, 3B, 3C	1A, 2D, 2F, 3A, 3B, 3D, 4E, 5A, 5B,	20
O mol é a massa molar	2A	1A, 1I, 2A, 2B, 2E, 2F, 2G, 2H, 2J, 3B, 3C, 4B, 5C, 5D	1I, 2J, 4D	1D, 1E, 2A, 2B, 2H, 4C, 5C, 5D	26
O mol é um número definido de partículas	1A, 1B, 1C, 1D, 1I, 2B, 2C, 2E, 2F, 2G, 3B, 3C, 4A, 4B, 4D, 5C, 5D	1D, 1E, 2C, 4D	1C, 1E, 2A, 2C, 2E, 3D, 5A, 5C, 5D	2C, 4D	32

Fonte: Autoria Própria.

Na Atividade Prévia pedimos que os estudantes explicassem o significado do termo “mol” e dentre todas as respostas, 4 estudantes indicaram o mol como uma unidade de medida, como explicitado na resposta do estudante 3A. Nos questionamentos da Situação 5, deveriam assinalar se concordavam com as assertivas, e também justificar suas escolhas. Com isso, outros estudantes também expressaram que o mol é uma unidade de medida:

(Resposta para APP03) “Mol é uma unidade de medida, que determina a quantidade de matéria” (3A)

(Resposta para S05bP07(d)) “Falso. Em 1 mol contém a massa molar em gramas, mas o mol é a unidade de quantidade de substância, não de massa” (5B)

(Resposta para S05bP07(e)) “Verdadeiro. O Mol é a unidade de medida para a quantidade de matéria cujo seja partículas muito pequenas” (4E)

(Resposta para S05bP07(f)) “Falso pela alternativa acima. A não ser se for a relação de quantos gramas da molécula tem nesse 1 mol, ai sim” (1C)

Com relação às justificativas, sobre a concordância ou não com as afirmativas, os estudantes indicaram que o mol não é uma medida de massa nem de quantidade de partículas,

e sim a unidade para quantidade de matéria e, neste contexto, justificaram que se a correspondência for para 1 mol, ela pode ser válida.

Outro invariante operatório, mobilizado pelos estudantes, referiu-se a mol em suas relações com os aspectos macro e atômicos. Nestes casos, os estudantes não expressaram, de forma contundente, a ideia de que a unidade mol é massa, ou quantidade de partículas, por exemplo, mas justificaram que o mol se remete a relações entre estes dois âmbitos, como pode ser evidenciado nas respostas dos estudantes 2D, 3A, 3B e 1A:

(Resposta para APP03) *“Mol é um fator de conversão em que se relaciona a proporção de um composto com sua massa e o número de entidades nessa amostra” (2D)*

(Resposta para S05bP07(d)) *“Falso, é possível fazer uma relação entre mol e a massa molar do composto, e assim identificar a quantidade de moléculas presentes no composto, representado em número de mols” (3A)*

(Resposta para S05bP07(e)) *“Verdadeiro. Como já especificado acima, o mol representa a quantidade de moléculas presente em uma certa quantidade em gramas” (3B)*

(Resposta para S05bP07(f)) *“Falso pois mol não é medido em gramas, mas ele quantitativa a substância relacionando sua massa com o número de moléculas” (1A)*

O estudante 2D se remete ao mol como *“um fator de conversão”*, entre massa e a quantidade de partículas nela contida. A mesma ideia é apresentada pelos estudantes 3A, 3B e 1A, ao enfatizarem que o mol não é a massa molar em gramas (3A e 1A), mas é por meio desta unidade que estas relações podem ser abordadas. No caso do estudante 3B, mesmo afirmando que o mol é uma unidade de quantidade de substância, justificou que o mol *“representa a quantidade de moléculas presente em uma certa quantidade em gramas”*, o que implica na inferência da mobilização do invariante operatório *“relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol”*.

Sobre os dois invariantes operatórios apresentados até então (o mol é uma unidade de medida e relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol) ponderamos que o conceito sobre esta unidade se apresentou de forma mais adequada do ponto de vista químico, pois o primeiro invariante reafirma a aceção do mol como uma unidade. Já a segunda forma de conhecimento apresenta a relação entre os conceitos de massa, quantidade de partículas, o que de fato pode ser considerado, apesar da ideia de mol não se associar a nenhum deles (ROGADO, 2004).

Em contrapartida, por 26 vezes o invariante operatório “o mol é a massa molar” foi mobilizado pelos estudantes, tanto nas respostas à Atividade Prévia, quanto na Situação 5, como expresso nas respostas de 2A, 4B, 2J e 2B:

(Resposta para APP03) “*É o número de massa molar*” (2A)

(Resposta para S05bP07(d)) “*Verdadeiro. Considerando a H₂O como exemplo e olhando as massas molares de cada átomo vemos que o H = 1g/mol e que o O = 16g/mol, ou seja, a cada mol de cada substância têm-se 1 e 16g respectivamente*” (4B)

(Resposta para S05bP07(e)) “*Falso. O mol representa a massa molar em gramas da substância e não a quantidade da substância em si*” (2J)

(Resposta para S05bP07(f)) “*Falso. Mol pode ser também massa molecular de dada substância*” (2B)

Quando questionados sobre o significado do termo mol, o estudante 2A afirmou que “*É o número de massa molar*”, o mesmo se remete as respostas dos estudantes 4B e 2B quando acenam positivamente sobre o mol ser a massa molar (ou molecular) em gramas. Quanto ao acadêmico 2J, ainda reitera que o mol não é uma unidade, mas “*representa a massa molar em gramas da substância*”. Logo, o invariante operatório expresso por estes estudantes coincidem com as concepções de estudantes do ensino médio (DAHSAH; RICHARD; COLL, 2007, COLAGRANDE 2008) e professores da educação básica (FURIÓ; AZCONA; GUIASOLA, 1999; SANTOS; SILVA, 2014).

Assim, o invariante operatório mobilizado de forma mais significativa pelos estudantes se referiu ao mol como um número definido de partículas, como expresso pelos estudantes 4D, 1D, 2A e 2C:

(Resposta para APP03) “*Mol representa quantidade de matéria, equivale ao valor de $6,02 \times 10^{23}$* ” (4D)

(Resposta para S05bP07(d)) “*Falso. Mol é um número cujo valor está relacionado a número de entidades, no entanto, medimos o mol em gramas*” (1D)

(Resposta para S05bP07(e)) “*Verdadeira, um mol é a quantidade de milhares de átomos e moléculas que formam uma quantidade de substância*” (2A)

(Resposta para S05bP07(f)) “*Falso. Mol não é a medida de massa, e, sim de unidades. Massa molecular é a massa referente a uma molécula de uma determinada substância*” (2C)

Como exemplo de expressão deste invariante operatório, os estudantes 4D e 2A se remeteram a quantidades de partículas para o mol, referindo-se a constante de Avogadro (4D) e o estudante 2A, a um número muito grande de partículas. Inferimos o mesmo invariante

para respostas como a do estudante 1D que salienta o termo “entidades” e o estudante 2C, quando se referiram a palavra “unidades”, ressaltando a concepção de o mol é um número definido de partículas. Nesse contexto, Soares (2006), Fach, De Boer e Parchmann (2007), Dahsah e Coll, (2007) e Santos e Silva (2014) salientam que, os estudantes podem apresentar concepções que relacionam o mol com uma quantidade de partículas, seja pela constante de Avogadro, seja ao considerarem que 1 mol é o mesmo que 1 molécula.

4.5.2 O mol e a constante de Avogadro: relações entre o macro e as partículas

O mol e a constante de Avogadro também foram preconizados, mediante questionamentos presentes na Atividade Prévia (AP) e Situação 5 (S5). Alguns estudos demonstram que nem sempre os estudantes têm claro esta relação entre a quantidade de matéria e sua unidade, o mol com a constante de Avogadro. Alguns deles consideram que estes dois conceitos têm o mesmo significado (DAHSAH; COLL, 2007; SANTOS; SILVA, 2014). Neste contexto, buscamos compreender como os estudantes evidenciavam a relação entre a unidade mol e a constante de Avogadro e, para isso, selecionamos as seguintes problemáticas para análise: **AP – P01 (d): Considere que tenhamos a mesma massa de todos os símbolos acima destacadas. Elas possuem a mesma quantidade de substância? Explique.** **AP – P03: Explique o que significa mol. Que relação existe entre 1 mol de água e 1 mol de ferro?** **S05b – P07 (b): Se em uma reação tem-se como produto um mol de gás carbônico (CO₂), podemos afirmar que uma molécula desse gás foi formada.** **S05b – P07 (c): O mol é a constante de Avogadro em átomos, moléculas, íons, etc.**

Mediante respostas dos estudantes, a estes questionamentos, inferimos 4 possíveis invariantes operatórios, como apresentado anteriormente: **“o mol é uma unidade de medida”, “relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol”, “o mol é a massa molar” e “o mol é um número definido de partículas”**. Estes invariantes operatórios foram indicados, segundo sua ocorrência, no Quadro 32.

Quadro 32: Invariantes operatórios expressados para mol e a constante de Avogadro: relações entre o macro e as partículas

Invariantes Operatórios	AP – 01 (d)	AP – 03	S05b – 07 (b)	S05b – 07(c)	Total
O mol é uma unidade de medida	4E				1
Relações entre	1A, 1C, 1D, 1I,	5C	1A, 1C, 1D, 1E,	2D, 3D, 4B	40

macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol	2A, 2C, 2F, 2G, 2H, 3D, 4A, 4C, 4D, 5A, 5B, 5C, 5D		2A, 2C, 2D, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D		
O mol é a massa molar		3B			1
O mol é um número definido de partículas		1A, 1D, 1I, 2B, 2C, 2F, 2G, 3B, 3C, 3D, 4A, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D	1I, 2B, 2E, 4B, 5C	1A, 1C, 1D, 1E, 2A, 2C, 2E, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 4D, 5A, 5B, 5D	37

Fonte: Autoria Própria.

Com relação ao invariante “o mol é uma unidade de medida”, apenas um dos estudantes apresentou este entendimento quando questionados se em uma mesma massa teríamos a mesma quantidade de matéria:

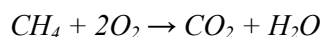
(Resposta para APP01(d)) “Não, porque cada símbolo possui uma relação entre g e mol (quantidade de matéria) diferentes. Por exemplo HCl terá uma massa molar de 36,5g/mol já a H₂O possui massa molar 18g/mol. Sabe-se que mol é a unidade de medida para a quantidade de matéria no qual um mol equivale 6,02x10²³” (4E)

Em contrapartida, o invariante operatório mais mobilizado pelos estudantes, fez menção sobre as relações entre o macro e o atômico, por intermédio das correlações entre o mol e a constante de Avogadro, como indicado nas respostas dos estudantes 1D, 5C e 1A:

(Resposta para APP01(d)) “Não, pois cada átomo possui sua massa atômica. Logo em 18g de H₂O temos 6x10²³ moléculas de H₂O, já em 18g de HCl temos a metade” (1D)

(Resposta para APP03) “A relação é que água e ferro apresentam massas diferentes, então para obter o número 1 mol de cada serão necessárias quantidades diferentes de cada 1 para tingir 1 mol de moléculas” (5C)

(Resposta para S05bP07(b)) “Verdade. Vamos fazer uma reação genérica só para ilustrar.



Foi formado 1 mol de CO₂ a partir desta reação, foram formadas 6,02.10²³ moléculas de CO₂ e não apenas uma” (1A)

O estudante 1D mencionou que a mesma massa para diferentes substâncias não resultará na mesma quantidade de partículas e analisa do ponto de vista das massas molares de água e HCl, tomando a constante de Avogadro como parâmetro da quantidade de moléculas existentes nesta massa. A mesma compreensão é expressa pelo estudante 5C, quando

explicitou que as massas de água e ferro são diferentes, desta forma, para se ter as mesmas quantidades de matéria seriam necessárias massas diversificadas. Já o estudante 1A, também ponderou sobre as relações entre 1 unidade de quantidade de matéria e a quantidade de moléculas de gás nela contida, afirmando assim que, não seria formada apenas uma molécula.

Mesmo em questionamentos diferenciados, o invariante operatório “o mol é a massa molar” também foi mobilizado por um dos estudantes, pois afirmou que se as massas entre o ferro e a água fossem diferentes, as quantidades em mols também seriam, logo, entendeu-se que o estudante 3B estabeleceu uma relação direta entre a unidade mol e a massa:

(Resposta para APP03) *“São diferentes pois depende da massa, a massa da água \neq massa de Fe \neq sua quantidade em mols será diferente” (3B)*

Com relação ao último invariante operatório, mobilizado pelos estudantes, verificamos que a maioria deles se referia ao mol como a constante de Avogadro, assim consideramos que os acadêmicos expressaram o mol como um número definido de partículas, como salientado pelos estudantes 5B, 4B e 2C:

(Resposta para APP03) *“A relação entre 1 mol de água e 1 mol de ferro é que ambos haverão $6,2 \times 10^{23}$ unidades, no caso da água, moléculas, no caso do ferro átomos” (5B)*

(Resposta para S05bP07(b)) *“Verdadeira. Pois na reação de C e O₂ têm-se o produto final que é o CO₂, dando a proporção de 1:1, logo temos um mol de CO₂ que equivale a uma molécula desse gás” (4B)*

(Resposta para S05bP07(c)) *“Verdadeiro. Segundo a definição da IUPAC, em um mol, tem-se a quantidade de matéria de um sistema que contém “entidades elementares”” (2C)*

O mesmo foi evidenciado em outras pesquisas, em que os estudantes faziam associações da unidade mol com um número definido de partículas (SOARES, 2006; FACH; DE BOER; PARCHMANN, 2007; DAHSAH; COLL, 2007; SANTOS; SILVA, 2014). Em decorrência deste entendimento, Fach, De Boer e Parchmann (2007), salientam que alguns alunos do ensino secundário da Alemanha não concordavam que o mol pudesse ser menor que 1 unidade, já que a compreensão era a de que o mol é equivalente a molécula. O mesmo foi evidenciado por Dahsah e Coll (2007) com estudantes secundários da Tailândia.

Neste mesmo contexto, Soares (2006), ao aplicar um questionário para 6 professores da educação básica, no Brasil, verificou que estes desconheciam a grandeza quantidade de matéria e que o mol era utilizado na aplicação de exercício em sala de aula. Assim, tanto estudantes quanto professores possuem pouco entendimento sobre a unidade mol e, geralmente, as questões numéricas são supervalorizadas. Destarte, Vergnaud (1979; 2012)

discute que não se trata apenas de compreender o número na realização de uma tarefa escolar, mas sim centralizar as discussões em torno das magnitudes no processo de compreensão:

As situações numéricas geralmente lidam com quantidades que não são números puros, mas magnitudes de vários tipos. Essas magnitudes podem ser magnitudes elementares, ou podem ser produtos ou quocientes de magnitudes elementares. É necessário levar em conta essas dimensões não só para analisar as tarefas, mas também para levar os alunos a algumas teorias importantes, como a análise dimensional, o mapeamento linear e a teoria do espaço vetorial. Não se pode fazer uma classificação adequada das tarefas referindo-se apenas à noção de número. Os números são indubitavelmente centrais na matemática, mas é impossível entender quais dificuldades as crianças encontram com os números, se você não as considera magnitudes de diferentes tipos, transformações ou relações (VERGNAUD 1979, p. 265, tradução nossa)⁶⁴.

Neste ponto de vista, diante dos invariantes expressados, percebeu-se que os estudantes possuem certa familiaridade com a unidade mol e a utilizam em diversos contextos, no entanto, associam mais esta unidade em suas relações numéricas que em termos conceituais, o que acarretou na expressão de invariantes mais dispersos que em outros conceitos analisados.

4.5.3 Considerações sobre o mol

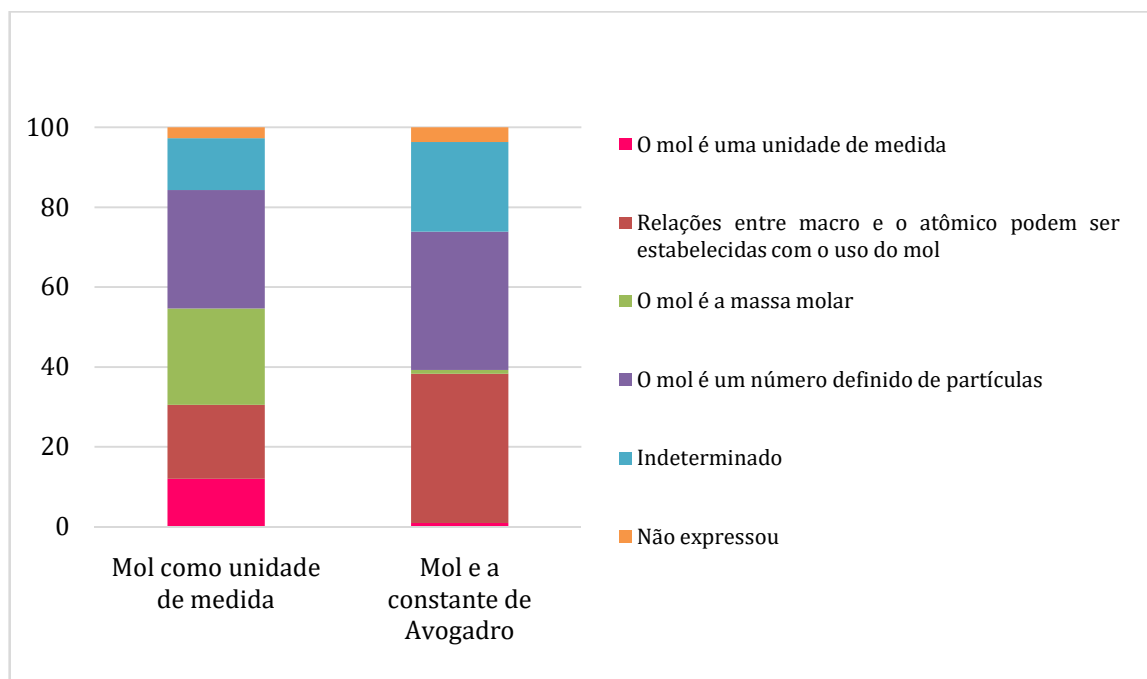
Dentre todos os conceitos avaliados nesta pesquisa, o mol se revelou o de maior equilíbrio entre as categorias de invariantes operatórios apresentados pelos estudantes, ou seja, sem predominância de certa categoria, bem como o fundamento em que a compreensão conceitual mais se distanciou de sua aceção. Quando avaliadas as duas formas de expressar a unidade mol, verificamos que os estudantes a situaram como uma unidade somente nas situações em que este questionamento era explícito, mesmo assim, dentre os invariantes mobilizados foi o de menor expressão, o que pode ser evidenciado na Figura 19.

Assim, “relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol”, e “o mol é um número definido de partículas”, foram os invariantes operatórios de maior

⁶⁴Citação original: Numerical situations usually deal with quantities that are not pure numbers but magnitudes of various kinds. These magnitudes can be elementary magnitudes, or they can be products or quotients of elementary magnitudes. It is necessary to take these dimensions into account not only to analyse tasks but also to lead pupils to some important theories such as dimensional analysis, linear mapping and vector space theory. One cannot make a proper classification of tasks by only referring to the notion of number. Numbers are undoubtedly central in mathematics but it is impossible to understand what difficulties children meet with numbers if you do not look at them as magnitudes of different sorts, transformations, or relationships.

expressão, dentre os mobilizados. Neste âmbito, os alunos conseguiram perceber que é por meio da unidade mol que se estabelecem relações entre os aspectos atômicos e macroscópicos, necessidade esta pela qual a unidade é tão relevante na química, porém não concebem o mol como unidade de medida de quantidade de matéria.

Figura 19: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar a unidade mol



Fonte: Autoria Própria.

No mais os estudantes também reconheceram o mol como sinônimo de massa e de partícula, o que demonstra certa ambiguidade na compreensão da unidade, assim, expressaram que uma partícula teria sua massa molar equivalente em gramas.

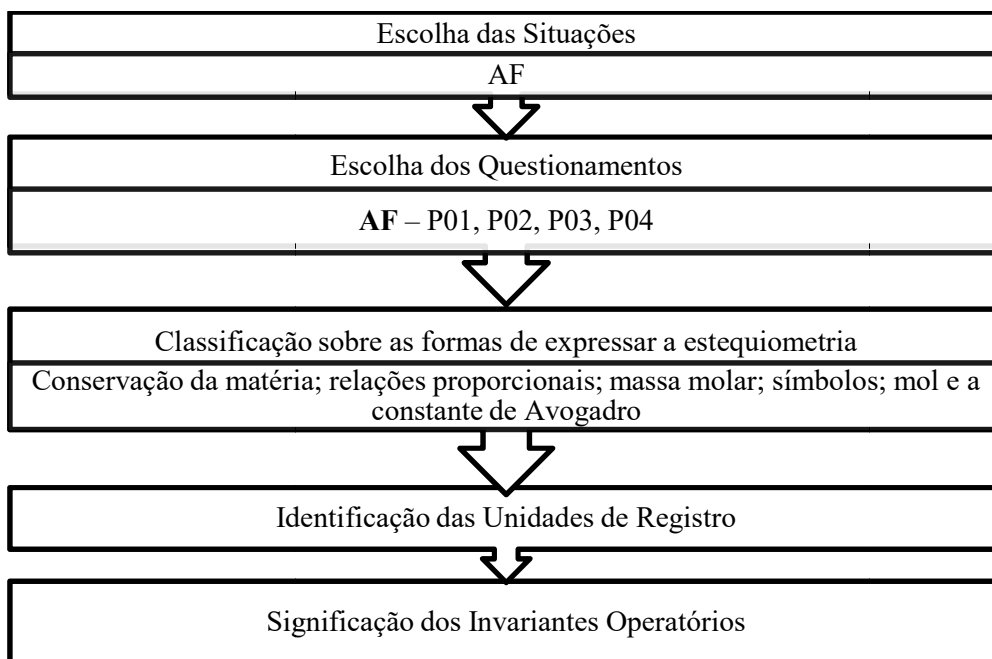
4.6 A CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA

Ao longo do processo de análise das situações propostas, buscamos compreender como os estudantes mobilizavam alguns invariantes operatórios em resposta às problemáticas. Percorremos estas situações sem que a estequiometria estivesse vislumbrada e, de maneira direta, focamos nos elementos que a constituem, já que um campo conceitual pode ser compreendido como uma série de conceitos pertinentes ao campo conceitual e que estão ali alocados devido às situações que empenham o uso destes conceitos (VERGNAUD, 1982; 1990; 2013a).

Logo, o campo conceitual da estequiometria deve ser compreendido como o conjunto de situações, empíricas ou não, como uma análise volumétrica, a determinação da quantidade de energia liberada na queima de um alimento e muitos outros, um conjunto de conhecimentos, que são os necessários para responder às situações, como a conservação da matéria, a massa molar, as relações proporcionais o mol, dentre outros, além do conjunto das representações e linguagens que são utilizadas para a compreensão e constituição deste campo. Assim, além de refletir sobre os aspectos que constituem a estequiometria, e propor situações em que estes conceitos estivessem presentes, também preconizamos uma atividade final, em que estes conceitos permanecessem correlacionados de forma que o campo da estequiometria estivesse contemplado. Assim, procuramos compreender como os conceitos que a embasam seriam empregados em questionamentos com ênfase na estequiometria.

Desse modo, utilizando a Atividade Final (AF) para tal análise, estabelecemos uma classificação sobre as diferentes formas de expressar a estequiometria, a saber: a conservação da matéria; as relações proporcionais; a massa molar; os símbolos; o mol e a constante de Avogadro. Em meio às respostas dos estudantes aos questionamentos presentes na Atividade Final, estabelecemos o processo de identificação das unidades de registro e, com a elas traçamos as categorias que perfazem os invariantes operatórios, o que pode ser sintetizado na Figura 20⁶⁵.

Figura 20: Sistematização do processo de análise dos resultados para a estequiometria



Fonte: Autoria Própria.

⁶⁵Todo processo de categorização quanto à estequiometria encontra-se no Apêndice M.

Com a significação dos invariantes operatórios, verificamos sua ocorrência quanto ao aparecimento das respostas dos estudantes, o que será analisado na sequência.

4.6.1 A conservação da matéria na estequiometria

Dentre todos os conceitos avaliados nesta pesquisa, a conservação da matéria foi um dos quais os estudantes tiveram mais facilidade em mobilizar invariantes operatórios que expressassem a sua conceitualização, ou seja, relações mais coesas do ponto de vista científico. Neste sentido, avaliamos não somente situações em que a conservação da matéria estivesse preconizada, mas também, investigamos este conceito em na atividade final, com vistas a estequiometria. Para tal, dentre as 4 problemáticas, selecionamos 3 questionamentos para tal estudo, sendo: **AF – P01: Sabendo que uma amostra de 7,2 gramas de um hidrocarboneto foi submetida à combustão utilizando o kaliapparat, segundo o processo descrito no texto acima e que essa queima gerou 10,8 gramas de água e 22,0 gramas de gás carbônico, qual é fórmula mínima desse hidrocarboneto? AF – P02: Foram dissolvidos 50,0g de carbonato de sódio, Na_2CO_3 , em água suficiente para se obter 500,0mL de solução aquosa. Qual a concentração em mol/L da solução de Na_2CO_3 ? Quais as concentrações em mol/L dos íons sódio e carbonato na solução? AF – P04: Para esse exercício considere que o isoctano (C_8H_{18}) é o principal componente da gasolina. Assim, considere também que a sua densidade é de 0,7kg/L e seu calor de combustão é de -5461,0 kJ/mol. Dessa forma, calcule a quantidade de energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.**

Por meio da análise das respostas chegamos a 4 possíveis invariantes operatórios:

- **Existe a conservação devido à correspondência entre as massas e quantidade de matéria dos reagentes e produtos.** Para este invariante avaliamos as respostas em que os estudantes ponderavam a conservação da matéria em termos de massas e/ou quantidade de matéria em relações entre os reagentes e produtos. Nestes casos, foram consideradas as proporções entre reagentes e produtos.
- **Existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos.** Nestes casos, consideramos as respostas em que os estudantes traçaram correspondências somente entre as massas, na reação.
- **Existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas.**

Para este invariante operatório ponderamos sobre as respostas em que as quantidades de partículas, indicadas pelas representações, eram mantidas no processo, no entanto, as representações não coincidiam com as fórmulas químicas mencionadas.

- **Existe correspondência entre reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta entre suas quantidades de matéria.** Nestes casos consideramos as respostas em que os estudantes mantinham a correspondência entre a quantidade de partículas na equação química, mas que não coincidiam com as variáveis, em termos de quantidade de matéria, do problema.

Com as respostas pudemos constatar sua ocorrência (invariantes), da qual se faz presente no Quadro 33. Para o invariante operatório “existe a conservação devido à correspondência entre as massas e quantidade de matéria dos reagentes e produtos”, verificamos que os estudantes atribuíram relações entre as quantidades em massa dos reagentes e produtos ou em termos de quantidade de matéria. Como exemplo da mobilização deste invariante, temos na resposta do estudante 1D a relação inicial entre as quantidades em massa, de forma que constatou que um dos reagentes não possuía oxigênio em sua composição, assim pelas diferenças entre as massas de reagentes e produtos, verificou-se que este elemento químico não estava presente.

Quadro 33: Invariantes operatórios expressados para a conservação da matéria na estequiometria

Invariantes Operatórios	AF – 01	AF – 02	AF – 04	Total
Existe a conservação devido à correspondência entre as massas e quantidade de matéria dos reagentes e produtos	1D, 2C, 2D, 2F, 3A, 3C, 3D, 4E, 5A, 5B, 5D	1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 3A, 3C, 3D, 4C, 4E, 5A, 5B, 5D	1D, 3D, 5A, 5B	29
Existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos		2H		1
Existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas	1E, 1I			2
Existe correspondência entre reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta entre suas quantidades de matéria	1C, 2E	1D, 4D	2D, 2F, 3B, 4C, 4D, 5D	10

Fonte: Autoria Própria.

Com isso, o estudante 1D estabeleceu relações entre as quantidades de matéria da água e gás carbônico, de forma a obter informações sobre a composição do reagente, já que os carbonos presentes no gás formado eram resultantes do componente inicial, assim como os hidrogênios da água, que constituía um dos produtos.

(Resposta para AFP01)

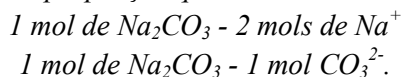
$$M_O = 7,2g - (6g + 1,2g) \quad (1)$$

$$M_O = 7,2g - 7,2g$$

$$M_O = 0g \text{ (NOC POR UTILIZAR } O_2 \text{)} ?$$

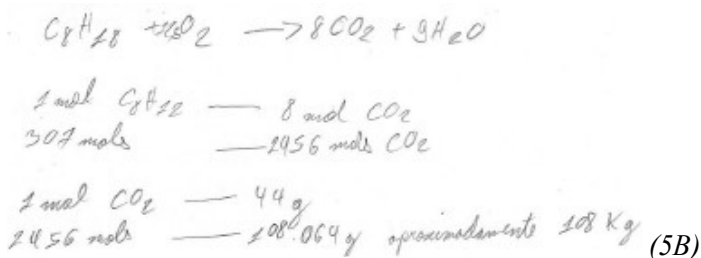
<p>→ Para H_2O</p> <p>1 mol - 18g</p> <p>x - 10,8g (1)</p> <p>x = 0,6 mol</p>	<p>para CO_2</p> <p>1 mol - 44g</p> <p>x - 2,2g (2)</p> <p>x = 0,5 mol (1D)</p>
--	--

(Resposta para AFP02) “Com a representação da reação pode-se estabelecer a relação de proporção que neste caso seria:



Portanto tem-se que a concentração de CO_3^{2-} é igual de Na_2CO_3 e a de Na^+ é duas vezes maior, com isso pode-se dizer que a concentração de Na^+ é de 1,88mol/L e de CO_3^{2-} é de 0,94mol/L” (3C)

(Resposta para AFP04)

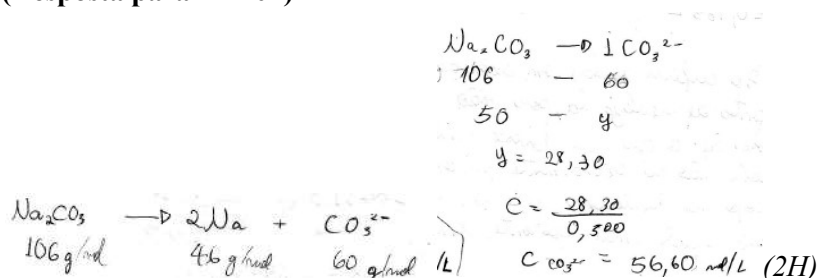


Outra forma de expressar a conservação da matéria pode ser exemplificada pela resposta do estudante 3C. Neste caso, considerado que o sal em uma solução aquosa se dissocia (separa seus íons), o estudante foi capaz de demonstrar que este processo envolve uma quantidade em partículas, que deve ser permanente, assim, estabeleceu que uma unidade de quantidade de matéria do sal “1 mol de Na_2CO_3 ” seria responsável pela formação de duas unidades em quantidade de matéria do íon sódio (Na^+) e uma unidade em quantidade de matéria do íon carbonato (CO_3^{2-}) e, por meio destas relações também indicou as concentrações finais dos íons na solução. A mesma ideia de conservação foi representada pelo estudante 5B ao estabelecer associações entre as quantidades de partículas, entre reagentes e produtos, na equação química, e por seu intermédio, correlacionou a quantidade de matéria dos componentes da reação (1 mol de C_8H_{18} formará 8 mols de CO_2).

Com a mobilização deste invariante operatório, foi possível perceber que os estudantes ao conceitualizarem a conservação da matéria, na estequiometria, levam tanto em consideração as relações entre as quantidades de partículas, por meio da equiparação entre as quantidades de reagentes e produtos, como as relações em massa ou em quantidade de matéria. Todos estes correlacionamentos mostraram que, de fato, não é possível compreender a estequiometria somente usando uma das variáveis, seja somente em massa ou em quantidade de matéria. Foi necessário que um conjunto de conhecimentos, em meio às situações e representações, fosse mobilizado sem que fosse desconsiderada a interdependência entre estes diversos conhecimentos.

Nesta lógica, um dos estudantes (2H) procurou estabelecer relações somente entre as quantidades em massa, no processo de dissolução do sal (questionamento 02), o que também demonstra a ideia da conservação da matéria, por isso a inferência do invariante operatório “existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos”. Nota-se que o estudante considerou a massa molar do sal (106g/mol) e que, posteriormente, a massa resultante dos íons seria equivalente à do sal (46g/mol + 60g/mol). Apesar disso, pedimos que considerassem a quantidade dos íons em termos de quantidade de matéria, no entanto, o estudante considerou que a massa expressava a quantidade de matéria, assim a concentração final foi dada em mol/L, ao invés de g/L, o que pode ser evidenciado na sequência.

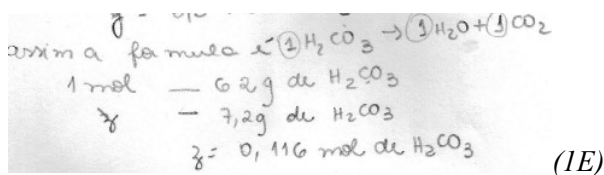
(Resposta para AFP02)



Desse modo, no processo de conceitualização da conservação da matéria, na estequiometria, nem sempre são suficientes as considerações entre a conservação das massas, já que as relações são sempre estabelecidas, de maneira proporcional, a quantidade de partículas, e nem sempre esta correspondência é equivalente a massa. Mesmo ponderando sobre essas relações, como feito pelo estudante 2H, ao final, perceber as diferenças entre as diversas variáveis (como a massa e a quantidade de matéria), ou seja, a compreensão do que cada uma representa pode ser preponderante na conceitualização da estequiometria.

Também consideramos a mobilização de outro invariante operatório, diante das respostas apresentadas pelos estudantes: “existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas”. Nestes casos, que não foram tão representativos (resposta de 2 estudantes), notamos que estabeleceram associações entre as quantidade de partículas antes e depois da reação, mediante uso dos símbolos, mas as relações conceituais que foram estabelecidas anteriormente, não foram suficientes para que a equação exprimisse os conceitos e as variáveis presentes, o que pode ser evidenciado na resposta do estudante 1E:

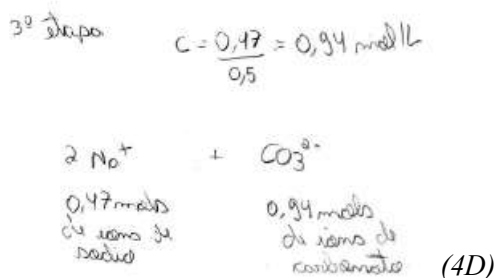
(Resposta para AFP01)



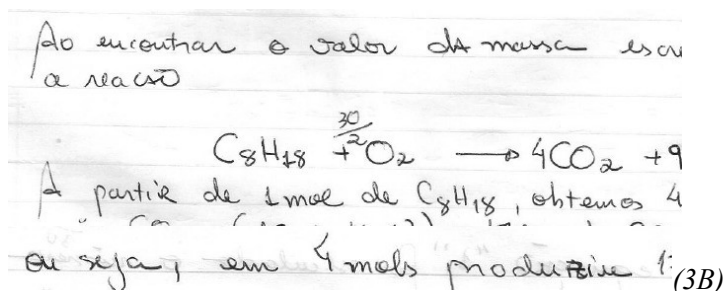
Para o estudante 1E as quantidades de hidrogênio, carbono e oxigênio são proporcionais na equação. No entanto, no questionamento direcionamos que, um dos reagentes da reação constituía-se de um hidrocarboneto (composto formado somente de hidrogênio e carbono). Desse modo, verificou, na formação de água e gás carbônico, a existência do oxigênio, atribuindo assim, ao reagente a presença deste elemento. Desta forma, a soma de $CO_2 + H_2O$ resultaria em H_2CO_3 , o que para o estudante corresponderia ao reagente.

O último invariante operatório, mobilizado por alguns estudantes (10 vezes), “existe correspondência entre reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta entre suas quantidades de matéria”, explicitou que os estudantes estabeleciam relações entre os reagentes e produtos, no entanto, a quantidade de matéria, seja em termos de partículas, seja em termos de concentração ou quantidade de substância (utilização da unidade mol), não eram correlatas. Neste sentido, o estudante 4D determinou a concentração do sal, indicou a proporção entre os íons formados ($2Na^+$ para $1CO_3^{2-}$) mas a quantidade de matéria, correspondente às condições da situação, não evidenciaram a sua conservação. Neste contexto, mesmo se atendo a relação 2:1, encontra que as quantidades em matéria são 0,47 mol de íons sódio (Na^+) para 0,94 mol de íons carbonato (CO_3^{2-}), como demonstrado a seguir:

(Resposta para AFP02)



(Resposta para AFP04)

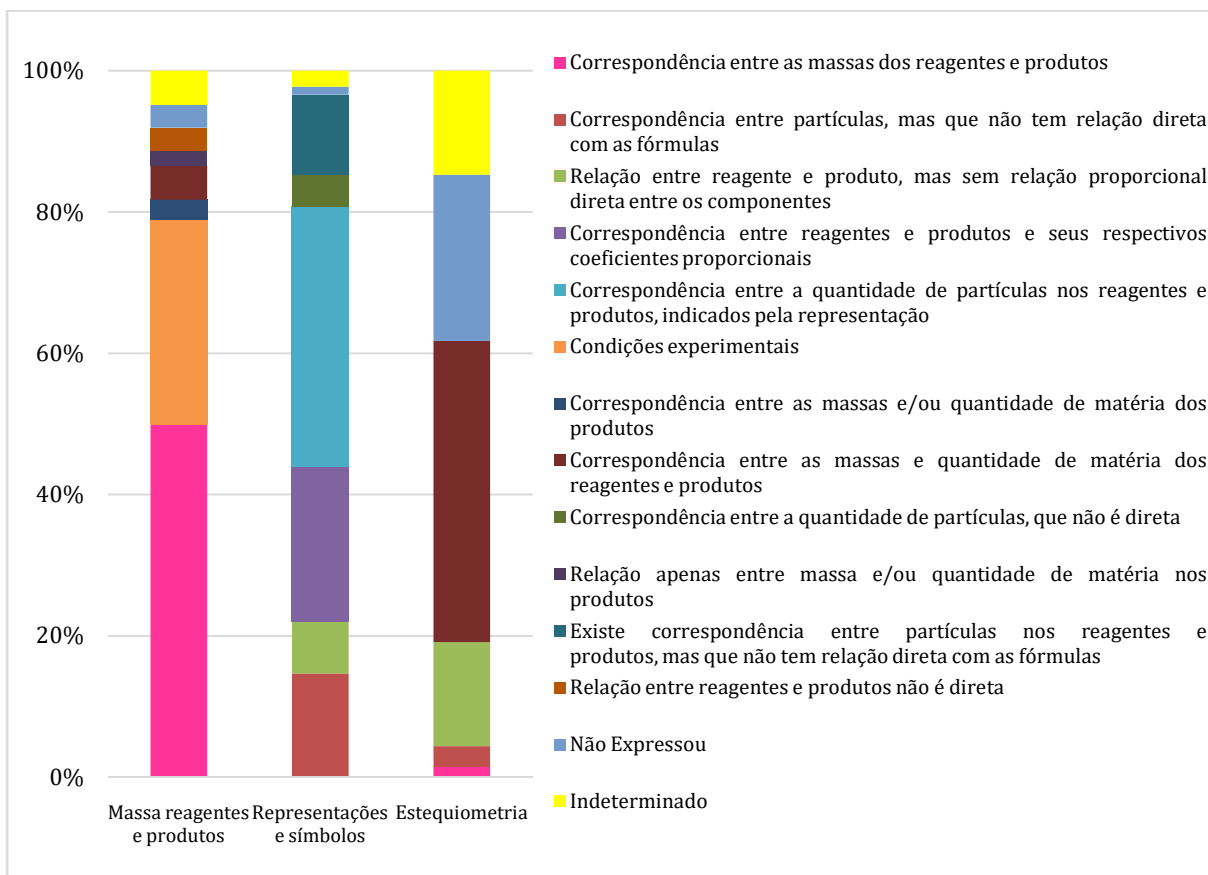


Outra expressão deste invariante operatório foi exemplificada pela resposta do estudante 3B. Neste contexto, procurou indicar, pela equação as relações entre reagentes e a formação dos produtos, no entanto, as relações entre as quantidades de oxigênio e carbono não correspondiam à quantidade destes elementos nos produtos, assim partiu de 1 unidade de quantidade de matéria de um dos reagentes para a formação de 4 unidades de um dos produtos. Logo, houve a correspondência entre os reagentes e produtos, ou seja, a identificação de ambos, mas as quantidades, em matéria, não eram correspondentes.

Considerando, desta forma, a conceitualização da conservação da matéria, no que diz respeito a esta ideia, seja no contexto da estequiometria, ou não, verificamos que os estudantes tiveram mais facilidade em mobilizar invariantes operatórios sobre a conservação da matéria nos âmbitos em que este conceito não se inseria diretamente na estequiometria, como pode ser evidenciado pela Figura 21.

Assim, ao ponderar sobre a conservação da matéria, em relação às massas, perto de 87% das respostas dos estudantes se direcionaram a esta forma de conceitualização. Quanto às representações e símbolos, em torno de 73% das respostas indicaram a mobilização de invariantes sobre a conservação das partículas em um processo químico. No que diz respeito à conservação da matéria, na estequiometria, cerca de 44% das respostas apresentou invariantes nesta perspectiva.

Figura 21: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar a conservação da matéria



Fonte: Autoria Própria.

Destarte, consideramos que, pensar nas relações em termos macroscópicos, como, a conservação da massa, pode ser mais familiar aos estudantes, já que evidenciamos ao longo dos anos transformações em que esta variável por ser modificada ou mantida, o que de fato é válido. Em termos de estequiometria, esta forma de pensar a conservação deve ser relevada, ou seja, deve-se partir da ideia que a relação entre massas será a mesma tanto no início da reação, como no final dela. No entanto, ao pensar sobre a necessidade em se usar determinada massa, ou ainda porque certa massa foi obtida, nas reações químicas, somente os aspectos observáveis não subsidiam este entendimento, assim, é necessário considerar que esta massa está associada a certa quantidade de partículas, nos reagentes e produtos, e que estas medidas é que vão ser determinantes na limitação das massas.

Neste seguimento, verificamos que os estudantes também expressaram esta forma de conceitualizar a conservação das partículas, indicados pelas representações ou símbolos, no entanto, houve menor representatividade de invariantes que considerassem esta perspectiva, que na conservação das massas. Deste modo, as relações entre partículas guardam algumas particularidades, já que os elementos não se combinam de forma aleatória, mas não

esperávamos que os estudantes se preocupassem com o arranjo e sim que a expressão da reação denotasse a conservação das partículas no processo.

Ao fim a conceitualização da conservação, na estequiometria, exige que todos estes aspectos, e ainda outros, sejam levados em consideração para a conservação da matéria. Somente a percepção da conservação da massa não é suficiente para que se compreendam os aspectos atômicos das reações e, nesse contexto, o conceito de conservação da matéria requer ponderações sobre os aspectos observáveis. Logo, considera-se que, em virtude da necessidade em agregar estas informações, é que tenhamos menor representatividade, nas respostas dos estudantes, de invariantes operatórios que considerem a conservação da matéria.

4.6.2 As relações proporcionais na estequiometria

Também avaliamos, nesta investigação, as relações proporcionais na estequiometria. Assim como os outros conceitos, reservamos situações as quais estivessem presentes, como foco, mas também ponderamos sobre necessidade em apreciar estas relações em que a estequiometria estivesse evidente, de maneira explícita. Para tal, analisamos as 4 problemáticas propostas na Atividade Final (AF): **AF – P01: Sabendo que uma amostra de 7,2 gramas de um hidrocarboneto foi submetida à combustão utilizando o kaliapparat, segundo o processo descrito no texto acima e que essa queima gerou 10,8 gramas de água e 22,0 gramas de gás carbônico, qual é fórmula mínima desse hidrocarboneto?** **AF – P02: Foram dissolvidos 50,0g de carbonato de sódio, Na_2CO_3 , em água suficiente para se obter 500,0mL de solução aquosa. Qual a concentração em mol/L da solução de Na_2CO_3 ? Quais as concentrações em mol/L dos íons sódio e carbonato na solução?** **AF – P03: Para determinar a massa molar de um ácido monoprótico desconhecido, HX, uma amostra de 0,1635g do ácido foi titulado com NaOH padronizado, de concentração 0,1mol/L. Sabendo que no procedimento foram usados 27,25mL de NaOH, qual a massa molar desse ácido?** **AF – P04: Para esse exercício considere que o isooctano (C_8H_{18}) é o principal componente da gasolina. Assim, considere também que a sua densidade é de 0,7kg/L e seu calor de combustão é de -5461,0 kJ/mol. Dessa forma, calcule a quantidade de energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.**

Por meio da análise das respostas chegamos a 5 possíveis invariantes operatórios:

- **Existe relação proporcional e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis.** Neste caso os estudantes indicavam e traçavam as relações diretas para resolução ou justificativa da problemática;
- **Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis.** Para este, consideramos o uso de diferentes variáveis, em justificativas às problemáticas;
- **Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas.** Para inferência deste invariante, consideramos as respostas que utilizavam de propriedades intensivas, apontadas, no contexto das perguntas P02, P03 e P04, como necessárias pelos estudantes;
- **Existe relação proporcional, e ela pode ser expressa na determinação de fórmulas químicas:** Neste caso, consideramos as respostas em que os estudantes expressaram as relações proporcionais, em todas as instâncias necessárias, ponderando sobre as massas iniciais e a quantidade de matéria nelas presente. Também estabeleceram relações entre as quantidades de matéria dos elementos, para então, a indicação das fórmulas químicas, o que foi denotado no contexto da pergunta P01.
- **Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial.** Por fim, consideramos que as relações eram estabelecidas, mas, em consequência de alguma relação circunstancial, ou seja, relações aleatórias criadas pelos estudantes em suas respostas.

Em decorrência das respostas dos estudantes, conseguimos avaliar a ocorrência de cada um destes invariantes operatórios, que estão alocados no Quadro 34.

Quadro 34: Invariantes operatórios expressados para as relações proporcionais na estequiometria

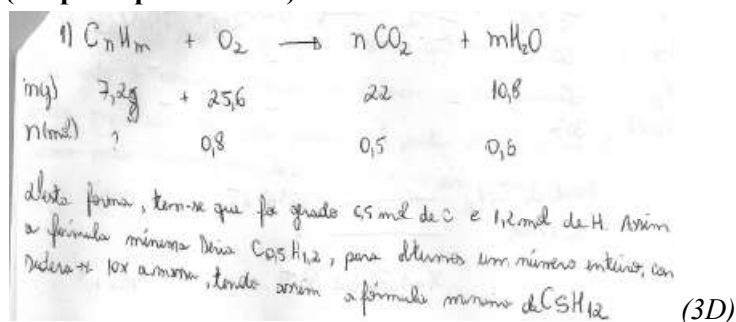
Invariantes Operatórios	AF – 01	AF – 02	AF – 03	AF – 04	Total
Existe relação proporcional, e ela pode ser expressa na determinação de fórmulas químicas	2C, 2F, 3D, 5B				4
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas	1C, 1D, 1E, 1I, 2D, 2H, 3A, 3C, 4C, 4E, 5A, 5D	1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 3A, 3C, 3D, 4C, 4E, 5A, 5B, 5D	2B, 2C, 2D, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B	1D, 2D, 2F, 3D, 5A, 5B	43
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis		2H			1
Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada	2E, 5C		2A		3

por correspondências entre as mesmas variáveis					
Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	2A, 3B	1B, 1C, 1D, 1E, 2E, 2G, 3B, 4D, 5C	1D, 2F, 5D	1E, 2B, 2H, 3A, 3B, 3C, 4C, 4D, 4E, 5D	24

Fonte: Autoria Própria.

Nos questionamentos realizados na Atividade Final, avaliamos que, duas das categorias, apresentadas por Ramful e Narod (2014), sobre as relações proporcionais, na estequiometria, foram requisitadas. Para o questionamento 1, consideramos que, as relações proporcionais eram pedidas para que fosse determinada a fórmula química do composto. Já nos questionamentos 2, 3 e 4, ponderamos sobre a necessidade em utilizar as relações proporcionais com vistas as propriedades intensivas. Assim, julgamos que, no âmbito da estequiometria e, focados no tipo de questionamento realizado, somente os invariantes operatórios, expressos sobre estas duas perspectivas, podem ser considerados pertinentes, e nesse sentido, verificamos que, por 4 vezes o invariante operatório “existe relação proporcional, e ela pode ser expressa na determinação de fórmulas químicas” foi mobilizado pelos estudantes, o que pode ser representado pela resposta do estudante 3D:

(Resposta para AFP01)



O estudante 3D, assim como os demais que mobilizaram este invariante operatório, estabeleceu, inicialmente, as relações proporcionais em massa, em consideração a conservação desta variável, para cada componente da reação, de forma que, a massa de oxigênio pudesse ser determinada. Com isso, encontrou a quantidade de matéria (n) para cada um dos reagentes e produtos da reação. Esta relação proporcional (determinação de n) requereu analisar as massas molares de cada um destes componentes, pois, por meio da massa molar é possível promover associações entre as massas empíricas e a quantidade de matéria.

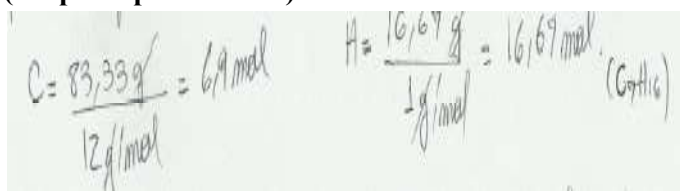
Ao final, com estas quantidades de matéria, o estudante 3D considerou que, estas relações são determinadas em termos de partículas e que a obtenção de números inteiros requeria pensar sobre múltiplos, por isso o estudante previu que, se a massa fosse multiplicada

por 10, a quantidade de matéria seria proporcional e, conseqüentemente, os números de partículas seriam inteiros na fórmula química.

Assim, no processo de conceitualização das relações proporcionais, em estequiometria, são variadas as formas em que a proporcionalidade pode ser utilizada, e ainda considerando a determinação de fórmulas químicas, é preciso refletir como cada variável está diretamente relacionada à outra, não somente em termos de elementos na própria fórmula, mas também que esta deve ser obtida a partir de considerações sobre os produtos que dela foram originados.

Sobre o invariante operatório, mobilizado por 43 vezes na Atividade Final, analisamos as relações em que as propriedades intensivas eram requeridas, o que foi evidenciado na maioria das respostas dos estudantes. Logo, expressaram relações entre massa e volume (densidade), quantidade de matéria e volume (concentração), massa e quantidade de matéria (massa molar), como expressado nos exemplos de respostas dos estudantes 2D, 4E e 2F:

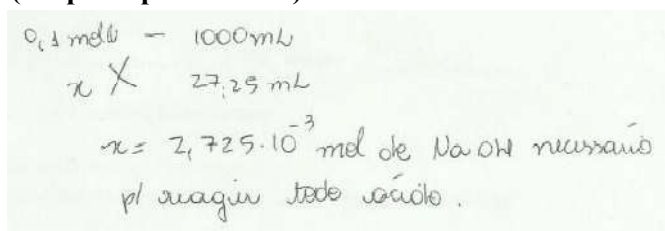
(Resposta para AFP01)



$C = \frac{83,33g}{12g/mol} = 6,9 \text{ mol}$ $H = \frac{16,67g}{1g/mol} = 16,67 \text{ mol}$ (C=16)

(2D)

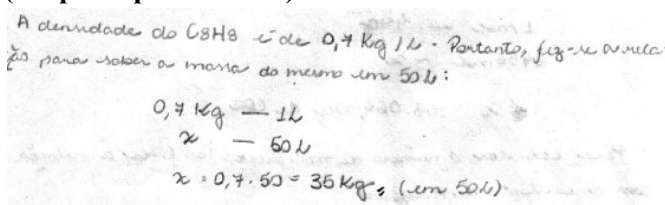
(Resposta para AFP03)



$0,3 \text{ mol/L} = 1000 \text{ mL}$
 $x \quad \quad \quad 27,25 \text{ mL}$
 $x = 2,725 \cdot 10^{-3} \text{ mol de NaOH necessário}$
para reagir todo ácido.

(4E)

(Resposta para AFP04)



A densidade do C_8H_8 é de $0,7 \text{ Kg/L}$. Portanto, faz-se a relação para saber a massa do mesmo em 50 L :

$0,7 \text{ Kg} \quad - \quad 1 \text{ L}$
 $x \quad \quad \quad - \quad 50 \text{ L}$
 $x = 0,7 \cdot 50 = 35 \text{ Kg}$ (em 50 L)

(2F)

Para o estudante 2D, as relações proporcionais, com uso de propriedades intensivas foram determinantes para encontrar a quantidade de matéria de carbono e hidrogênio, por meio da massa molar de cada um. Apesar destas constatações, consideramos que, na estequiometria, somente o uso de certas relações proporcionais podem não ser suficientes para que o problema seja solucionado. Neste caso (estudante 2D), assim como para outros 11 estudantes, o uso das propriedades intensivas não foi conclusiva na determinação da fórmula

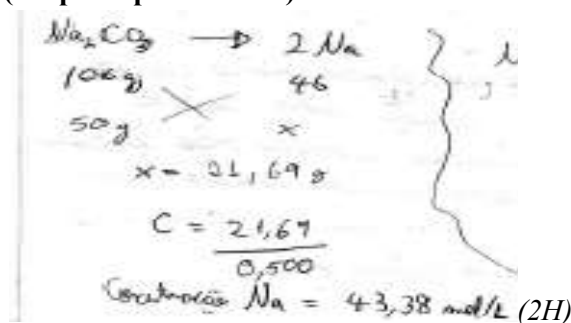
química. Assim, o estudante 2D conseguiu encontrar a quantidade em matéria dos dois elementos (carbono e hidrogênio), no entanto, para a determinação da fórmula era necessário ponderar sobre como cada elemento poderia influenciar na quantidade de matéria do outro, e neste caso, o estudante considerou que os números encontrados (6,9 mols para o carbono e 16,67 mols para o hidrogênio) já eram equivalentes às quantidades de elementos.

Nesse contexto, conceitualizar as relações proporcionais, com uso de propriedades intensivas, na determinação de fórmulas químicas, pode ser um dos caminhos trilhados para esta constatação, como previsto por 12 estudantes. No entanto, este é um dos aspectos a ser considerado. Ao final, deve-se ponderar que as correlações entre as quantidades de partículas, perfazem uma proporção própria, o que exige um nível maior de conceitualização.

Já os estudantes 4E e 2F mobilizaram o invariante operatório das relações proporcionais, com uso de propriedades intensivas em questionamentos que possuíam este nível de complexidade, assim exprimiram a relação em quantidade de matéria proporcional a um determinado volume (4E) e a massa proporcional a uma quantidade em massa (2F).

Um dos estudantes (2H) também mobilizou, na estequiometria, o invariante operatório “existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis”. Neste contexto, foi capaz demonstrar algumas associações entre as massas molares de sal (Na_2CO_3) e o sódio (Na), indicando que 106g de sal produziria 46 (g) de sódio e que seriam formados em torno de 21 gramas de sódio se na reação fossem utilizados 50 gramas do sal. Apesar de fazer esta associação, ponderou que esta massa, em relação a um volume total, teria como resultante a concentração em mol/L. Neste âmbito consideramos que o estudante foi capaz de pensar em termos de variáveis independentes (massa, volume), mas não, ao final, em quantidade de matéria por volume total.

(Resposta para AFP02)



Em outro caso, em que eram preconizadas as relações proporcionais em termos de propriedades intensivas, três estudantes mobilizaram o invariante operatório “existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis”.

Por exemplificação, o estudante 5C estabeleceu relações entre as massas de hidrogênio e carbono, com as massas das substâncias que os continham. Por fim, encontrou, por meio das relações entre massas destes elementos, a sua razão:

(Resposta para AFP01)

Handwritten work for AFP01:

$$1H = 1,0g$$

$$x = 10,8g$$

$$x = 10,8 H$$

$$1C = 12g$$

$$x = 22,6g$$

$$x = 1,83 C$$

H) $\frac{10,8}{1,83} = 5,9$ C) $\frac{4,83}{1,83} = 1,0$

Fórmula mínima: C_4H_6
 ou hidrocarboneto

(5C)

Verificamos, assim, que as relações proporcionais entre as mesmas variáveis são relevantes e são enfatizadas em muitas situações. Apesar disso, no contexto deste campo conceitual, essas relações podem não ser suficientes, pois, como exemplificado na resposta do estudante 5C, não é possível o estabelecimento das relações proporcionais em termos de átomos, sem que se considere a quantidade de matéria envolvida para cada composto químico.

Por fim, o segundo invariante operatório, mais expressado pelos estudantes, manifestou relações proporcionais entre as variáveis, mas em termos circunstanciais. Nestes casos, as relações eram expressadas por meio de conhecimentos conflituosos como evidenciado nas respostas dos estudantes 2F e 4C:

(Resposta para AFP03)

Handwritten work for AFP03:

$$m = \frac{m}{MM \cdot V} \rightarrow \frac{2,425 \cdot 10^{-3}}{(mol/L) \cdot 0,2725L} = 0,1635g$$

$MM = 220,18g$ (2F)

(Resposta para AFP04)

Handwritten work for AFP04:

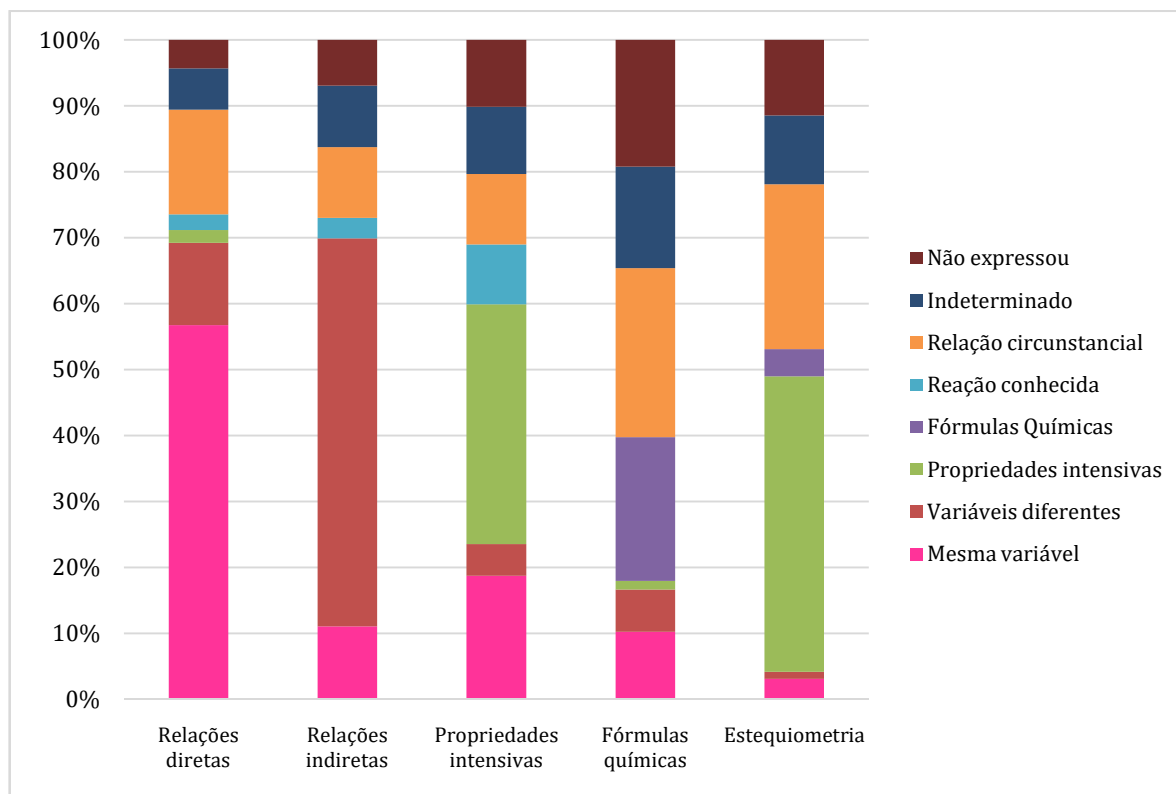
$1 mol \quad \text{---} \quad 8 mol$
 $114g \quad \text{---} \quad x \rightarrow x = 912g \text{ de } CO_2$ (4C)

O estudante 2F ponderou sobre a massa de ácido neutralizado na reação (0,1635g), no entanto, considerou que o volume da solução era o correspondente a base (0,2725L). Logo, ao utilizar uma fórmula de concentração, para determinar a massa molar do possível ácido, não julgou o fato de que, o computo da massa molar (MM) dependeria das propriedades específicas do componente em análise, ou seja, a sua concentração, o seu volume e a sua massa. No caso do estudante 4C, foram estabelecidas relações em quantidade de matéria e em

massa para a o gás carbônico (CO₂). Assim, se uma unidade de quantidade de matéria, para o isooctano (composto que iria sofrer a queima) produziria 8 unidades de quantidade de matéria de gás carbônico, a massa de isooctano seria proporcional a massa de gás formado. Mesmo considerando pertinentes estes conceitos, a quantidade de gás produzida deveria ser proporcional a porção empírica de isooctano.

Acerca do processo de conceitualização das relações proporcionais, na estequiometria, foi possível verificar que os estudantes apresentaram invariantes operatórios mais coerentes com os dois primeiros níveis de complexidade (mesma variável e variáveis diferentes), em problemas que exigiam esta compreensão, e que à medida que a complexidade aumentava, as relações circunstanciais ficaram mais explícitas, o que pode ser evidenciado na Figura 22.

Figura 22: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar as relações proporcionais



Fonte: Autoria Própria.

Deste modo, para as relações diretas, cerca de 56% dos estudantes explicitaram conhecimentos coerentes com este nível de conceitualização. Para as relações indiretas (diferentes variáveis), em torno de 58% das respostas foram congruentes. Para as propriedades intensivas, cerca de 36% e para a determinação de fórmulas químicas, perto de 22% das respostas foram coesas e, sobre a Atividade Final, este número se manteve no uso

das propriedades intensivas (cerca de 36%) e diminuiu para cerca de 5% na determinação das fórmulas químicas.

O processo de conceitualização das relações proporcionais requer, deste modo, a compreensão de variadas formas de estabelecimento destas relações, que apresentam níveis de complexidade diferentes, ou seja, as relações diretas, com variáveis distintas, propriedades intensivas, reações paralelas e determinação de fórmulas (RAMFUL; NAROD, 2014), e estes diversos níveis podem aparecer em uma mesma situação. Todas estas formas de conceitualização são importantes para a compreensão da estequiometria, mas conforme a análise das respostas, verificamos que, determinados níveis de compreensão podem não ser suficientes para resolver a problemática, como nos casos em que se expressavam as relações proporcionais, com uso de propriedades intensivas, na determinação de fórmulas químicas.

4.6.3 A massa molar na estequiometria

Investigamos também, as relações em que a massa molar era enfatizada, seja no contexto da estequiometria, ou em situações mais específicas que exigiam este conceito, deste modo, utilizamos 3 dos 4 questionamentos presentes na Atividade Final, a saber: **AF – P02: Foram dissolvidos 50,0g de carbonato de sódio, Na_2CO_3 , em água suficiente para se obter 500,0mL de solução aquosa. Qual a concentração em mol/L da solução de Na_2CO_3 ? Quais as concentrações em mol/L dos íons sódio e carbonato na solução?** **AF – P03: Para determinar a massa molar de um ácido monoprótico desconhecido, HX, uma amostra de 0,1635g do ácido foi titulado com NaOH padronizado, de concentração 0,1mol/L. Sabendo que no procedimento foram usados 27,25mL de NaOH, qual a massa molar desse ácido?** **AF – P04: Para esse exercício considere que o isoctano (C_8H_{18}) é o principal componente da gasolina. Assim, considere também que a sua densidade é de 0,7kg/L e seu calor de combustão é de -5461,0 kJ/mol. Dessa forma, calcule a quantidade de energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.**

Em resposta a estes questionamentos, foram mobilizados 3 possíveis invariantes operatórios (organizados segundo sua ocorrência no Quadro 35):

- **Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas.** Para inferência deste invariante, consideramos as respostas em que

os estudantes propunham relações entre as massas molares ou massas padrão estabelecidas na situação, as variáveis experimentais e a quantidade de partículas específica, referente a estas massas.

- **Existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais não é direta.** Para este invariante operatório consideramos as respostas em que os estudantes imprimiram associações entre as massas molares e a quantidade de matéria, seja pela unidade mol ou a constante de Avogadro, mas tiveram dificuldade em relacionar estas informações aos dados experimentais, mostrando alguma inconsistência.
- **A correspondência entre as massas molares dos componentes e a quantidade de partículas, na fórmula química, não é direta.** Nestes casos consideramos as respostas em que os estudantes não associaram a quantidade de elementos a suas respectivas massas.

Quadro 35: Invariantes operatórios expressados para a massa molar na estequiometria

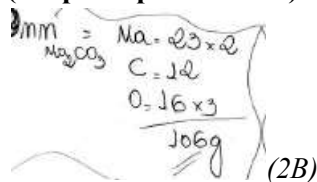
Invariantes Operatórios	AF – 02	AF – 03	AF – 04	Total
Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas	1C, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	2B, 2C, 2D, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B	1D, 2B, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B	46
A correspondência entre as massas molares dos componentes e a quantidade de partículas, na fórmula química, não é direta	1D		5D	2
Existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais não é direta	1B	1E, 5D		3

Fonte: Autoria Própria.

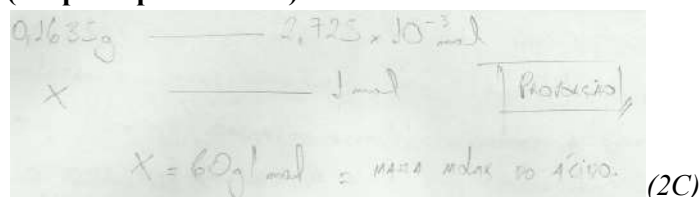
Com relação ao primeiro invariante operatório analisado, sendo “existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas”, verificamos que os estudantes indicaram possíveis associações entre a quantidade de elementos envolvidos nos

compostos químicos e suas respectivas massas molares, o que pode ser evidenciado nas respostas dos estudantes 2B e 2C:

(Resposta para AFP02)



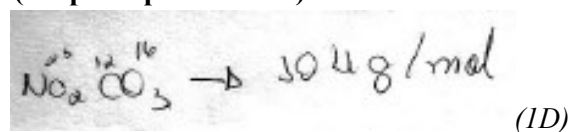
(Resposta para AFP03)



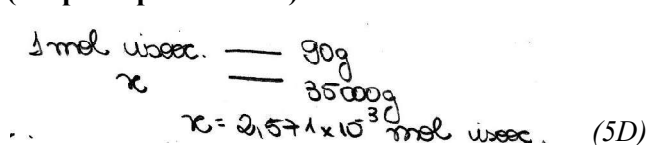
Com isso, o estudante 2B procurou indicar a quantidade de elementos químicos (como o Na = 2; C= 1 e O = 3) e estabelecer as massas combinadas destes elementos. Já o estudante 2C encontrou, por meio da quantidade de matéria, a massa correspondente a ela, ou seja, a massa que condizia com uma unidade de quantidade de matéria. Nestes contextos, analisamos que os estudantes levaram em consideração as relações entre as quantidades de elementos químicos envolvidos no processo, ou ainda, a quantidade de partículas associada à determinada massa ao utilizar a unidade para a quantidade de matéria.

Em contrapartida, outro invariante operatório foi mobilizado por dois estudantes, no sentido de que as quantidades de elementos não condiziam com a massa obtida pela soma destas partes, o que pode ser evidenciado nas respostas dos estudantes 1D e 5D:

(Resposta para AFP02)



(Resposta para AFP04)

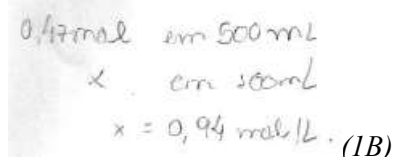


À visto disto, o estudante 1D indicou as massas molares para cada elemento químico (Na, C e O) e o composto perfazia o previsto no questionamento, no entanto a resultante expressou em uma massa menor que a prevista (de 106g/mol). No caso do estudante 5D não foi possível verificar como a determinação de 1 mol de isooctano teria 90g, mas apesar disso, verificamos o uso da massa molar, mesmo que não correspondente, para encontrar alguma

quantidade de matéria, assim inferimos a mobilização do invariante operatório “a correspondência entre as massas molares dos componentes e a quantidade de partículas, na fórmula química, não é direta”.

Por fim, no que concerne a massa molar, verificamos que por 3 vezes o invariante operatório “existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais não é direta” foi mobilizado. Isto posto, o estudante 1B estipulou a quantidade de matéria, referente à determinada massa do sal carbonato de sódio (Na_2CO_3), no entanto, a consideração sobre o volume da solução, permitiu que a concentração encontrada não expressasse as condições empíricas do problema, como evidenciado na sequência, já que a quantidade de matéria deveria ser expressa por litro de solução:

(Resposta para AFP02)



Handwritten work for AFP02: $0,47 \text{ mol em } 500 \text{ mL}$
 $x \text{ em } 1000 \text{ mL}$
 $x = 0,94 \text{ mol/L} \quad (1B)$

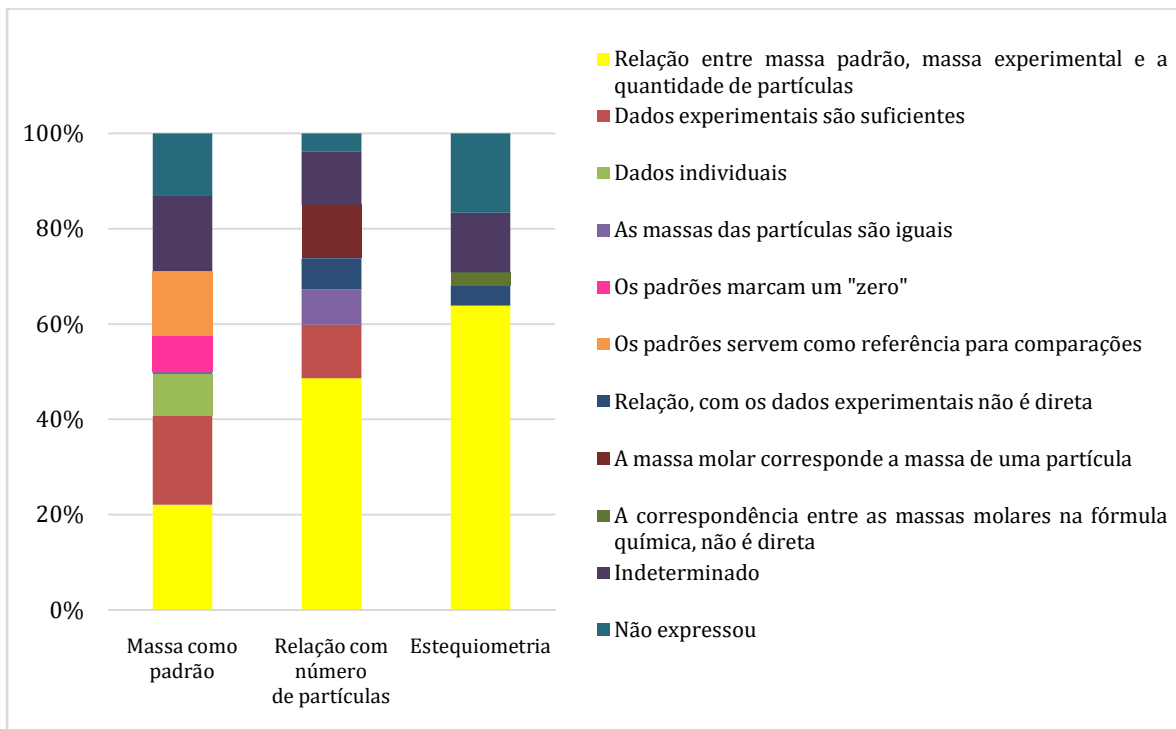
(Resposta para AFP03)

$$C_2 = \frac{m_2}{m_{M_2} \cdot V_2}$$
$$\text{p } 0,1 \cdot 0,02725 = \frac{0,1635}{m_{M_2}} \quad (5D)$$

Já o estudante 5D propôs, por meio de fórmula, a determinação da massa molar do ácido HX, no entanto, considerou que o volume da base utilizada na reação (0,02725L) correspondiam ao ácido.

Em meio às análises pudemos verificar que, vários conhecimentos são necessários para a conceitualização da massa molar. Desta forma, analisamos as respostas dos estudantes em ponderações sobre a massa molar como um padrão estabelecido, em relações com números de partículas e, por fim, na estequiometria, e constatamos que os estudantes possuem certa facilidade em aplicar, numericamente, a massa molar no contexto da estequiometria, o que corresponde a cerca de 64% das respostas em que a massa molar estava relacionada com o número de partículas, seja com relação ao número de elementos dela correspondente, seja em sua correlação com a quantidade de matéria.

Figura 23: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar a massa molar



Fonte: Autoria Própria.

Apesar disso, quando questionamos, em situações específicas sobre este conceito, pudemos perceber que pouco mais de 20% dos estudantes a vislumbrou como uma massa padrão, o que pode ser evidenciado na Figura 23. Em outro âmbito, da massa molar e sua relação com um número de partículas, verificamos que este percentual se elevou para perto de 50% das respostas que expressavam o invariante operatório sobre a relação entre a massa molar, a quantidade de partículas e as massas experimentais, mesmo assim ficando abaixo desta perspectiva na estequiometria.

Assim, estes resultados sugerem que os estudantes possuem familiaridade com a aplicação da massa molar, o que podem implicar em relações conceituais sobre este conceito, no entanto, a consideração sobre a massa molar como um padrão estabelecido e a sua relação com um número de partículas constitui uma parte significativa para a sua conceitualização.

4.6.4 Os símbolos na estequiometria

Consideramos avaliar também os símbolos na estequiometria, e desta forma, foram selecionados dois dos quatro questionamentos em que esta forma de representação estivesse mais evidenciada nas equações químicas. Deste modo, avaliamos os seguintes

questionamentos: **AF – P01: Sabendo que uma amostra de 7,2 gramas de um hidrocarboneto foi submetida à combustão utilizando o kaliapparat, segundo o processo descrito no texto acima e que essa queima gerou 10,8 gramas de água e 22,0 gramas de gás carbônico, qual é fórmula mínima desse hidrocarboneto?** **AF – P04: Para esse exercício considere que o isooctano (C₈H₁₈) é o principal componente da gasolina. Assim, considere também que a sua densidade é de 0,7kg/L e seu calor de combustão é de - 5461,0 kJ/mol. Dessa forma, calcule a quantidade de energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.**

Por meio das respostas dos estudantes verificamos a mobilização de 4 possíveis invariantes operatórios:

- **Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa.** Para inferência deste invariante, consideramos as respostas em que os estudantes propunham considerações e representações coerentes, do ponto de vista químico, entre o símbolo e o contexto pelo qual estava inserido.
- **Moléculas e átomos configuram o mesmo tipo de partícula.** Na proposição deste invariante operatório, consideramos as respostas em que os estudantes não estabeleceram diferenciação entre átomos e moléculas.
- **A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta.** Para este último invariante operatório, ponderamos sobre as respostas em que o símbolo e sua representação ou justificativa não coincidiam com seu significado.
- **Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química.** Este invariante operatório foi inferido quando os estudantes expressavam, de forma coesa, os símbolos dos componentes da reação, mas não os coeficientes da equação.

Após a categorização dos invariantes operatórios, verificamos a sua ocorrência, o que está demonstrado no Quadro 36.

Quadro 36: Invariantes operatórios expressados para os símbolos na estequiometria

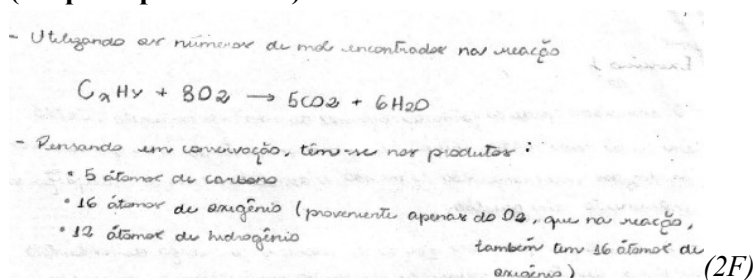
Invariantes Operatórios	AF – 01	AF – 04	Total
Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa	2C, 2F, 3D, 5B	1D, 3D, 4C, 5A, 5B, 5D	10
Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química		2D, 2F, 3B, 4D	4

A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta	1C, 1D, 1E, 1I, 2D, 2E, 2H, 3A, 3C, 4E, 5A, 5C, 5D		13
Moléculas e átomos configuram o mesmo tipo de partícula	2A, 3B		2

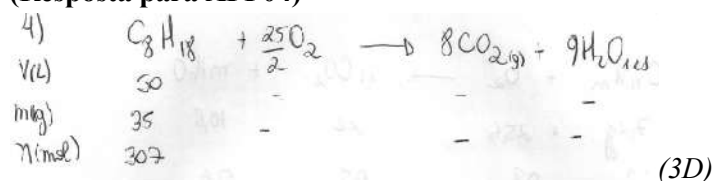
Fonte: Autoria Própria.

Na atividade final, com relação aos símbolos, os estudantes mobilizaram quatro diferentes tipos de invariantes. No primeiro deles (existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa), por 10 vezes, os estudantes evidenciaram a relação existente entre os símbolos químicos e o que ele representava, como exemplificado pelo o estudante 2F que, descreveu, com detalhes, o que compreendia em termos das fórmulas químicas apresentadas, e, dessa forma, expressou, coerentemente, a quantidade de átomos e moléculas presentes na equação, por ele escrita. Da mesma forma, o aluno 3D apresentou a equação de combustão do octano, com suas respectivas fórmulas químicas, expressando os índices e coeficientes, referentes à equação, como evidenciado na sequência.

(Resposta para AFP01)



(Resposta para AFP04)



Ponderamos deste modo que, ao expressar as equações e contemplar informações sobre elas, como o montante de cada partícula, a quantidade de matéria (n), como indicado pelo estudante 3D, e a relação entre estas partículas, os estudantes expressam considerações conceituais sobre a relação dos símbolos e o que eles podem representar. Logo, é relevante refletir sobre os símbolos isoladamente, mas no que tange a estequiometria, a conceitualização dos símbolos também exige que se compreenda como eles se relacionam na equação química.

Assim, na tentativa de estabelecer esta relação, entre os símbolos em equações químicas, um segundo invariante foi mobilizado por quatro estudantes na Atividade Final.

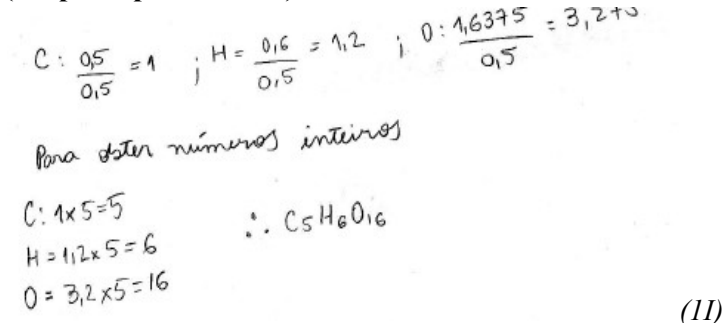
Logo, em casos em que o estudante representou adequadamente os símbolos, mas, ao inseri-lo em uma equação química, não expressou coesão entre as quantidades de partículas, julgamos a mobilização do invariante operatório “existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química”. Como exemplo, o estudante 2D, representou as fórmulas químicas, dos reagentes e produtos, mas o coeficiente do gás oxigênio (O₂) não salientava a quantidade de oxigênios dos produtos:

(Resposta para AFP04)



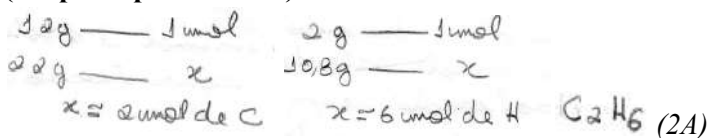
Por outro lado, o invariante mais recorrente (mobilizado por 13 vezes), no que diz respeito aos símbolos químicos, na estequiometria, foi caracterizado pela falta de relações entre o símbolo e o que ele representa. Nesse sentido, os estudantes acabaram apresentando os símbolos e fórmulas químicas dissociados de seu significado. Por conseguinte, no exemplo do estudante 1I foi possível notar que a fórmula descrita, não pode ser prevista, pois 5 átomos de carbono não comportam ligações com 16 átomos de oxigênio, o que demonstrou certa dificuldade em estabelecer conexões entre o símbolo e seu significado:

(Resposta para AFP01)



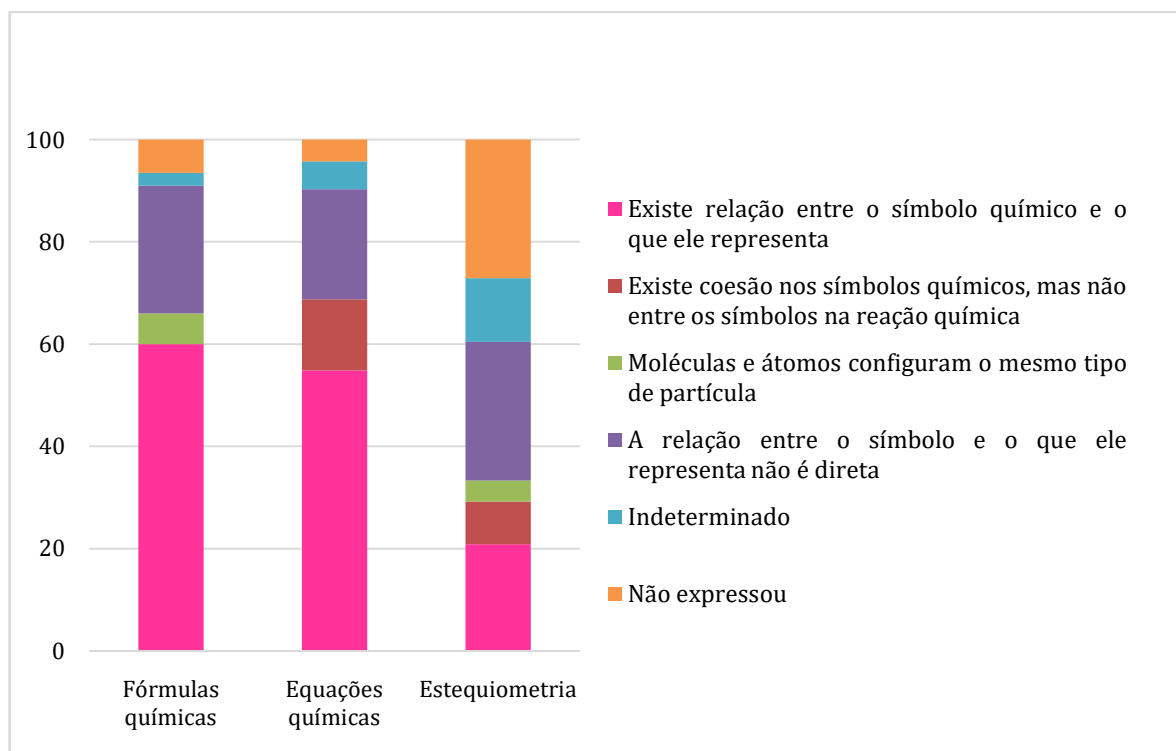
Por fim, o último invariante, mobilizado para esse conceito, foi o que os estudantes consideravam que átomos e moléculas poderiam configurar o mesmo tipo de partícula. Nesse contexto, o estudante 2A, ao determinar a quantidade de matéria para os dois elementos químicos (carbono e hidrogênio) utilizou para um deles (carbono) a sua massa molar, já para o hidrogênio, utilizou a massa molar da molécula, por consequência a fórmula proposta por esse estudante expressou certa confusão na identificação das relações entre moléculas e átomos:

(Resposta para AFP01)



Assim, comparando a frequência dos invariantes mobilizados pelos alunos em situações específicas que envolviam os símbolos com essa mesma frequência, nas situações que envolviam o cálculo estequiométrico, notamos que, além do aumento no índice de estudantes que não expressaram ou que não foi possível atribuir invariante para a resposta, o percentual do invariante em que existe a relação entre o símbolo e o que ele representa caiu pela bruscamente, a redução foi maior que 50%.

Figura 24: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar os símbolos químicos



Fonte: Autoria Própria.

Comparando a frequência dos invariantes mobilizados pelos alunos em situações específicas, que envolviam os símbolos, com essa mesma frequência nas situações que envolviam o cálculo estequiométrico, notamos que, além do aumento no índice de estudantes que não expressaram ou que não foi possível inferir invariante para a resposta, verificamos também que, o percentual de respostas que expressavam o invariante “existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa” diminuiu mais que 50% na estequiometria.

Nesse sentido podemos inferir que os alunos possuíam certa familiaridade com os símbolos e o que ele representa, considerando que, nas situações em que os símbolos eram tratados em fórmulas químicas ou equações, cerca de 60% dos alunos mobilizaram esse invariante. Porém esse índice é pouco maior que 20% quando se considerou as situações na estequiometria. Ponderamos que, pela própria complexidade, inerente aos problemas trazidos,

os alunos tiveram mais dificuldade em associar as substâncias às suas respectivas fórmulas químicas, bem como, expressar todas essas variáveis em uma equação.

4.6.5 O mol na estequiometria

Por fim, avaliamos o conceito de mol, aplicado à estequiometria em suas relações com os aspectos macro e atômico. Para isso, analisamos as respostas dos estudantes aos quatro questionamentos propostos na Atividade Final: **AF – P01: Sabendo que uma amostra de 7,2 gramas de um hidrocarboneto foi submetida à combustão utilizando o kaliapparat, segundo o processo descrito no texto acima e que essa queima gerou 10,8 gramas de água e 22,0 gramas de gás carbônico, qual é fórmula mínima desse hidrocarboneto?** **AF – P02: Foram dissolvidos 50,0g de carbonato de sódio, Na_2CO_3 , em água suficiente para se obter 500,0mL de solução aquosa. Qual a concentração em mol/L da solução de Na_2CO_3 ? Quais as concentrações em mol/L dos íons sódio e carbonato na solução?** **AF – P03: Para determinar a massa molar de um ácido monoprótico desconhecido, HX, uma amostra de 0,1635g do ácido foi titulado com NaOH padronizado, de concentração 0,1mol/L. Sabendo que no procedimento foram usados 27,25mL de NaOH, qual a massa molar desse ácido?** **AF – P04: Para esse exercício considere que o isooctano (C_8H_{18}) é o principal componente da gasolina. Assim, considere também que a sua densidade é de 0,7kg/L e seu calor de combustão é de -5461,0 kJ/mol. Dessa forma, calcule a quantidade de energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.**

Por meio das respostas ponderamos 4 possíveis invariantes operatórios:

- **O mol é uma unidade de medida.** Para este invariante operatório consideramos as respostas em que os estudantes se referiam ao mol como uma unidade para a quantidade de substância.
- **O mol está associado com a massa molar.** Nestes casos, inferimos o invariante a partir de respostas que estabeleciam relações entre o mol e a massa molar.
- **O mol está relacionado com um número definido de partículas.** Para este invariante operatório, ponderamos sobre as respostas em que os estudantes associavam o mol a um número definido de partículas.

- **O mol está associado com propriedades intensivas.** Nestes contextos, inferimos o invariante em respostas que demonstravam associações entre o mol e as propriedades intensivas.

Com as respostas a estes questionamentos, categorizamos os invariantes operatórios que foram organizados segundo sua ocorrência no Quadro 37.

Quadro 37: Invariantes operatórios expressados para o mol e a constante de Avogadro na estequiometria

Invariantes Operatórios	AF – 01	AF – 02	AF – 03	AF – 04	Total
O mol é uma unidade de medida	1C, 1D, 2C, 2D, 2F, 3A, 3C, 3D, 4E, 5A, 5B, 5D	1D, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 5A, 5B, 5D	2A, 2C, 2D, 2F, 3A, 3C, 3D, 4D, 5A, 5B, 5D	2D, 3B, 3D, 4C, 4D, 5A, 5B, 5D	46
O mol está associado com propriedades intensivas		1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1C, 1D, 1E, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D	2B, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5D	54
O mol está relacionado com um número definido de partículas	2H			1D, 2D, 2F, 3A, 3B, 3C, 3D, 4D, 5A, 5B, 5D	12
O mol está associado com a massa molar	1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 4E, 5A, 5B, 5D	1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D	1C, 1D, 1E, 1I, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 2C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D	1D, 1E, 2B, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D	69

Fonte: Autoria Própria.

Para o primeiro invariante operatório, inferimos sobre as respostas dos estudantes, considerações sobre o uso da unidade mol, que foram expressados em decorrência dos resultados finais encontrado, como evidenciado nas respostas dos estudantes 1C, 2A e 3D:

(Resposta para AFP01)

$$H_2O = 10,8 / 18g/mol = 0,6 \text{ mol}$$

(1C)

(Resposta para AFP03)

$$\begin{array}{l} 0,1 \text{ mol} \text{ --- } 1000 \text{ mL} \\ x \text{ --- } 27,25 \text{ mL} \\ x = 2,725 \times 10^{-3} \text{ mol de NaOH} \end{array} \quad (2A)$$

(Resposta para AFP04)

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mol de } C_8H_{18} \text{ --- } 8 \text{ mol de } CO_2 \\ 307 \text{ mol de } C_8H_{18} \text{ --- } x \\ x = 2456 \text{ mol de } CO_2 \end{array} \quad (3D)$$

No caso do estudante 1C foi possível verificar que, a resultante entre a massa de água empírica e a sua massa molar, seria a quantidade de matéria nela contida, com referência a sua unidade de medida (mol). O mesmo foi evidenciado na resposta do estudante 2A que, considerou como resultante da relação entre a concentração e o volume de base (NaOH) a quantidade de matéria neste volume. Por fim, o estudante 3D demonstrou que, a conceitualização da unidade de quantidade de matéria também pode ser expressa em termos de relações entre partículas, já que, para ele, 1 unidade de quantidade de matéria do hidrocarboneto, formaria na combustão, 8 unidades, em quantidade de matéria de gás carbônico.

Outra forma de conceitualizar a unidade mol se refere correlação em propriedades intensivas, assim inferimos o invariante operatório “o mol está associado com propriedades intensivas”, que foi mobilizado por 54 vezes pelos estudantes, o que pode ser expresso nas respostas de 1I, 5A e 2B:

(Resposta para AFP02)

$$\begin{array}{l} Na = 23,2 = 46 \\ C = 12 \\ O = 16 \times 3 = 48 \\ \hline 106 \text{ g/mol} \end{array} \quad (1I)$$

(Resposta para AFP03)

$$\begin{array}{l} 2,725 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \text{ --- } 0,1635 \text{ g} \\ 1 \text{ mol} \text{ --- } x \\ x = 60 \text{ g/mol} \end{array} \quad (5A)$$

(Resposta para AFP04)

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mol de } C_8H_{18} \text{ --- } 5461,0 \text{ kJ} \\ 307,01 \text{ mol de } C_8H_{18} \text{ --- } x \\ x = -1,676 \cdot 10^6 \text{ kJ} \end{array} \quad (2B)$$

Podemos verificar que, o estudante 1I indicou a relação entre a massa e a quantidade de matéria, para o sal, e o estudante 5A, em relação inversa ao estudante 1I, encontrou a massa molar do possível ácido HX. Também uso da unidade mol em propriedades intensivas, o estudante 2B, ponderou sobre a quantidade de energia liberada na queima de certa quantidade de hidrocarboneto disponível. Desta forma, conceitualizar a unidade mol também pode implicar em compreender como esta unidade pode se relacionar com outras variáveis de maneira dependente, como indicado pelos estudantes 1I, 5A e 2B.

Outro invariante operatório, também mobilizado pelos estudantes (o mol está relacionado com um número definido de partículas) se remeteu as correspondências entre esta unidade e a quantidade de partículas, como evidenciado na resposta do estudante 2D:

(Resposta para AFP04)

$1 \text{ mol de } \text{CO}_2 \text{ — } 6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}$
 $2 \text{ 456,08 mol } \text{CO}_2 \text{ — } x$
 $x = 1,479 \cdot 10^{27} \text{ moléculas de } \text{CO}_2$ (2D)

Neste caso o estudante indicou a quantidade de partículas presente em uma unidade de quantidade de matéria para o gás carbônico, e também, a quantidade de moléculas contidas em 456,08 mols de gás.

Por fim, o invariante operatório, mobilizado mais expresso pelos estudantes (o mol está associado com a massa molar), foi inferido em casos em que determinavam a massa por unidade de quantidade de matéria, como evidenciado nas respostas de 3C, 5A e 4C:

(Resposta para AFP01)

Água
 $1 \text{ mol} - 18 \text{ g}$
 $y - 10,8 \text{ g}$
 $1y = 0,6 \text{ mol}$ (3C)

(Resposta para AFP03)

$2,725 \cdot 10^{-3} \text{ mol} - 0,1635 \text{ g}$
 $1 \text{ mol} - x$
 $x = 60 \text{ g/mol}$ (5A)

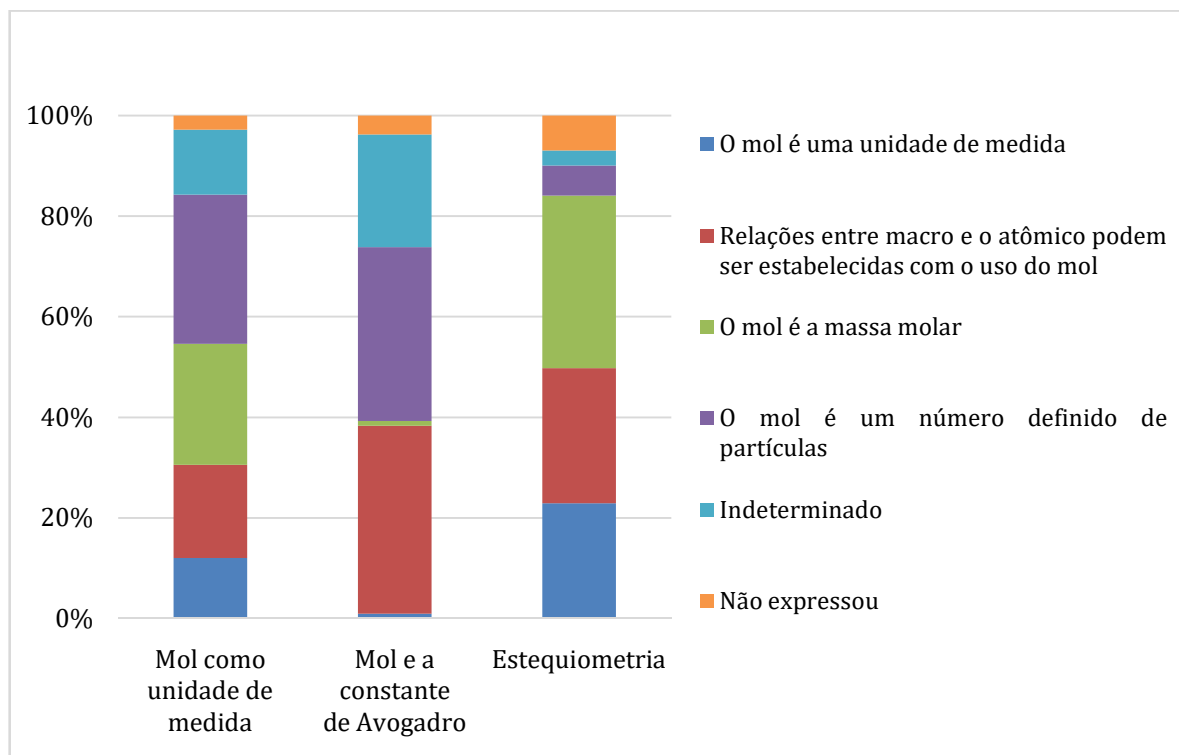
(Resposta para AFP04)

$1 \text{ mol} \text{ — } 8 \text{ mol}$
 $114 \text{ g} \text{ — } x \rightarrow x = 912 \text{ g de } \text{CO}_2$ (4C)

Neste contexto, o estudante 3C indicou a massa de água contida em uma unidade de quantidade de matéria, e expressiu a quantidade de matéria que estaria contida em outra massa de água, assim buscou relacionar esta quantidade de matéria as suas respectivas massas, sendo empíricas ou não. De maneira inversa, o estudante 5A buscou, nas variáveis da situação, estabelecer correlações entre a massa e quantidade de matéria nela expressa. Já o estudante 4C manifestou que, esta relação pode ser acerca das reações químicas, então as quantidades em matéria e as massas dos componentes em uma reação são correspondentes.

Considerando então, a unidade mol e suas relações conceituais, verificamos que a utilização desta unidade no contexto da estequiometria foi familiar aos estudantes, pois, exprimiram relações das quais a unidade mol exerce a função, como a de possibilitar o computo de variáveis de níveis atômicos (ao utilizar a constante de Avogadro) para variáveis de nível mensurável, como a massa e o volume. Também utilizaram a unidade “mol” como resultante de várias relações na estequiometria, o que pode ser verificado na Figura 25:

Figura 25: Distribuição percentual dos invariantes operatórios mobilizados em relação às formas de expressar o mol



Fonte: Autoria Própria.

Neste âmbito, é possível compreender o motivo pelo qual os estudantes mobilizaram mais invariantes operatórios, considerando o mol como a massa molar, como o número da constante de Avogadro, do que como uma unidade de medida. O fato de esta unidade ser utilizada em tantas correlações possibilita que os estudantes a conceitualizem desta forma,

mas não que a correlação entre estas variáveis e uma unidade de medida, são relações e não que estes conceitos sejam equivalentes. Deste modo, a indicação do mol como uma unidade de medida, foi menos expressada pelos estudantes, quando questionados sobre isso (relação trazida na primeira coluna da Figura 25) que em suas relações na estequiometria (terceira coluna da Figura 25).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além da construção histórica do campo conceitual da estequiometria permitir a compreensão de sua elaboração, enfatizando os conceitos que são pertinentes a este campo, sua riqueza conceitual e a dinâmica de entrelaçamento destes conceitos, o ensino e a aprendizagem deste campo, podem ser tão relevantes quanto a sua composição histórica, já que, segundo Vergnaud (1988; 1991), a análise cognitiva de um conceito revela as conquistas de um indivíduo, em termos de aprendizagem, os erros e insucessos de um conhecimento que foi desenvolvido socialmente, o que ocorre tanto para o ambiente escolar como no âmbito científico. Ou seja, tanto uma forma de desenvolvimento quanto outra são importantes para entender como a construção deste conhecimento ocorre, pois indicam os conceitos que são subjacentes a este campo conceitual e os fatores que influenciam diretamente em sua elaboração e desenvolvimento.

Assim, por meio do entendimento da construção desse conhecimento é que se interpretam quais são os conceitos relevantes na delimitação do campo conceitual em questão, o que acaba por facilitar seu estudo. Mediante essas considerações, tornam-se significativos, além de seu delineamento histórico, as reflexões acerca do ensino e aprendizagem do campo conceitual da estequiometria.

Vergnaud (1990; 2007a; 2015; 2017) assume que os sujeitos necessitam, impreterivelmente, da conceitualização para aprender. Nesta ideia, fundamenta-se uma das questões iniciais recorrentes em diferentes pesquisas (MASON; SHELL; CRAWLEY, 1997; BOUJAOUDE; BARAKAT, 2000; BODNER; HERRON, 2002; EVANS; YARON; LEINHARDT, 2008; RAMÍREZ, et al., 2009, MARTINEZ; DE LONGHI, 2013; COSTA; SOUZA, 2013; SANTOS; SILVA, 2014; RAVIOLO; LERZO, 2016; SU, 2017) que discutem a aprendizagem do cálculo estequiométrico e apontam que, apesar da estequiometria ser considerada um dos núcleos conceituais da química, seu conteúdo não tem destaque quanto aos aspectos conceituais.

Mason, Shell e Crawley (1997), Evans, Yaron e Leinhardt (2008), Ramírez, et al., (2009), Costa e Souza (2013), Su (2017), discutem sobre a forma na qual o ensino de estequiometria pode ocorrer: com o emprego de bases conceituais e/ou fundamentado no ensino algoritmos da química/estequiometria. Segundo esses autores, normalmente prevalece o ensino algoritmo da estequiometria e, à vista disso, alguns problemas podem ser detectados quanto a sua aprendizagem, como:

- Falta de compreensão dos conceitos que subsidiam a estequiometria (SU, 2017);
- Memorização de passos na resolução de problemas (COSTA; SOUZA, 2013);
- Dificuldade em resolver outros tipos de problemas, que não os instruídos pelos professores (BOUJAOUDE; BARAKAT, 2000; EVANS; YARON; LEINHARDT, 2008);
- Incapacidade em utilizar os conceitos da estequiometria em outros campos da química e em outros níveis de escolaridade (EVANS; YARON; LEINHARDT, 2008);
- Insiipiência em reconhecer relações entre conceitos químicos diretamente ligados a estequiometria (EVANS; YARON; LEINHARDT, 2008);
- Dificuldade em transitar entre os símbolos, teorias, modelos e aspectos macroscópicos das reações químicas na estequiometria (DAVIDOWITZ; CHITTLEBOROUGH; MURRAY, 2010);
- Insegurança em estipular estratégias para a resolução dos problemas de estequiometria (FACH; BOER; PARCHMANN, 2007; GULACAR, et al., 2013).

Nestes casos, quando prevalece o ensino dos algoritmos na estequiometria o indivíduo se preocupa demasiadamente com as operações matemáticas, mais do que com a questão conceitual, acarretando nos problemas mencionados. Dessa forma, não consegue compreender as relações entre os conceitos, pois não “enxerga” a sua existência. Fica então, restrito a resolver os exemplos que já foram fornecidos, tenta memorizar as formas de resolução e não estipular estratégias que estejam baseadas nos conceitos.

Nesta relação, entre a compreensão e operação, que são consideradas por Vergnaud (2012) como duas formas distintas, mas possíveis de exprimir conhecimentos, recaiu a nossa preocupação para esta investigação. Desse modo, nos questionamos **“Que conceitualizações são mobilizadas por estudantes da Licenciatura em Química, em situações, em fundamentos pertinentes ao campo conceitual da estequiometria?”**

Mediante esta pergunta, a resposta mais coerente é: sobre muitas formas, pois, corroborando com a Teoria dos Campos Conceituais, um conceito pode ser definido como um conjunto, muito bem relacionado de situações (S), invariantes operacionais (I) e representações linguísticas (L) (VERGNAUD, 1982; 1990; 2013b), assim, quando pensamos no estabelecimento de um campo conceitual, esta relação pode ser ainda mais complexa, logo a “simples” indicação dos conceitos que embasam um campo conceitual, pode ser uma tarefa profunda.

Neste sentido, argumenta-se que estas relações são diferentes, pois cada indivíduo vivencia situações e, por meio delas e das representações linguísticas, combina, recombina ou rompe com determinadas formas de pensar. Neste âmbito é que Vergnaud (2011; 2013b) discute os princípios de linearidade e ruptura. Apesar das diferentes situações, Vergnaud (1990) afirma que estes pontos de rupturas e continuidades podem ser comuns às pessoas, logo, identificar e entender diferentes invariantes operatórios pode auxiliar na compreensão e promoção de situações e pesquisas que favoreçam a constituição de campos conceituais, como da estequiometria. Logo, respondendo ao nosso questionamento de investigação, de forma mais assertiva, verificamos que cada conceito guarda muitas particularidades, no entanto, é praticamente impossível prever a sua dissociação na estequiometria, pois é por meio dela que variadas situações podem requisitar a compreensão destes conceitos, constituindo este campo conceitual.

Deste modo, de maneira geral, os invariantes operatórios mobilizados, durante as situações mais específicas, para cada conceito proposto podem ser indicados no Quadro 38.

Quadro 38: Implicações sobre a análise dos invariantes operatórios mobilizados nas situações de conhecimentos específicos

Conceito	Forma de análise	Implicações sobre a análise dos invariantes operatórios nas situações específicas aplicadas
Conservação da matéria	A conservação da matéria em mudanças de estado físico	-Considerações sobre a importância do recipiente fechado; -Na medida em que conceituam, agregam informações como: a participação das vizinhanças; a manutenção do objeto permanente, densidade, mas nem sempre as informações eram pertinentes àquelas situações.
	As relações de conservação entre massas de reagentes e produtos	-Alunos afirmam que a massa será conservada → informação fiável; -Nem sempre transpõem a conservação, em especial, em relações numéricas; -Importância das situações no processo de conceitualização da conservação; -Relações com outros conceitos, como a quantidade de matéria, também auxiliam no processo de conceitualização da conservação da matéria.
	A conservação das partículas, por meio de representações e símbolos	-Partiram da conservação dos objetos → conservação das partículas, mas nem sempre a característica das classes é conservada → moléculas; -Dentre todas as formas de análise, a representação e símbolos envolveram maior número de invariantes sobre a não conservação da matéria; -Tentativas em compreender, numericamente e conceitualmente, as representações e símbolos → invariantes sobre a não conservação.

Proporcionalidade na estequiometria	Em relações diretas (mesma unidade)	-Tiveram mais facilidade em considerar as relações proporcionais diretas (massa x massa, mol x mol); -Alguns utilizaram, mesmo que neste contexto das relações diretas, relações proporcionais mais complexas (diferentes variáveis, propriedades intensivas); -Expressaram a necessidade em se conhecer as reações, para que as relações proporcionais fossem estabelecidas (pré-requisito).
	Em relações indiretas (unidades diferentes)	-Utilizaram relações proporcionais diretas (volume x volume); -Alguns utilizaram conhecimentos proporcionais mais complexos, neste contexto (concentração); -Dificuldades em integrar o conhecimento químico ao conhecimento proporcional.
	Com uso de propriedades intensivas	-Uso das variáveis diretas e indiretas, no contexto das propriedades intensivas; -Expressões sobre a necessidade em reconhecer as equações químicas; -Mais dificuldade, em relação a outras relações proporcionais.
	Na determinação de fórmulas químicas	-Relações mais complexas, em termos de entendimento, para os alunos → nível de maior dificuldade; -Utilizaram-se de relações proporcionais menos complexas para justificar as situações; -Maior número de estudantes que expressou invariantes operatórios sobre as relações proporcionais circunstanciais.
Massa molar	A massa molar como um padrão estabelecido	-Uma pequena parte dos estudantes explicitou considerações sobre a massa molar como um padrão estabelecido; -Alguns estudantes consideraram que as massas das partículas podem ser iguais; -Explicitaram que somente os dados experimentais ou individuais eram suficientes para resolver as situações.
	A massa molar e sua relação com números finitos	-Tiveram mais facilidade em expressar as relações entre a massa e um número de partículas, do que a massa como um padrão; -A massa molar corresponde a massa de uma partícula; -Explicitaram que somente os dados experimentais ou individuais eram suficientes para resolver as situações; -Utilizam a massa molar, no contexto das situações, mas tem dificuldade em relacionar com os dados empíricos.
Símbolos	Os símbolos químicos em fórmulas químicas	-A maioria dos estudantes conseguiu estabelecer relações entre os símbolos químicos, em fórmulas químicas, e o que eles representam; -Em alguns casos consideraram que molécula e átomo são o mesmo tipo de partículas; -Dificuldades em compreender a quantidade de elementos em uma fórmula química e também em reconhecer algumas

		situações representadas pelos símbolos.
	Os símbolos químicos em equações químicas	-Mais dificuldade em compreender os símbolos químicos, nas equações químicas; -Em alguns casos, estabeleciam relações nos símbolos, mas não entre os símbolos químicos, nas equações; -Confusões nas diferenciações entre índices e coeficientes, nas equações; -Estudantes tiveram mais facilidade nas equações com relações 1:1, entre os componentes.
Constante de Avogadro e o mol	O mol como uma unidade de medida	-Uma pequena parte dos estudantes considerou o mol como uma unidade de medida; -Parte deles relacionou o mol com os aspectos macro e atômico (massa, constante de Avogadro); -Uma parte afirmou que o mol é a massa molar ou um número definido de partículas (molécula ou constante de Avogadro).
	O mol e a constante de Avogadro: relações entre o macro e as partículas	-Um estudante considerou o mol como uma unidade de medida; -A maioria estabeleceu relações entre o macro e o atômico com a unidade mol; -Uma partícula teria sua massa molar expressa em gramas; -Uma parte afirmou que o mol é a massa molar ou um número definido de partículas (molécula ou constante de Avogadro).

Fonte: Autoria Própria.

Assim, sobre a conservação da matéria, notamos que os estudantes em geral, reconhecem a sua pertinência, no entanto, não conseguem relacionar, em todos os momentos, os aspectos que constituem este conceito, como o conjunto dos invariantes, representações e situações, apresentando assim, invariantes operatórios sobre a não conservação da matéria, mais centralizados nos aspectos representacionais, quando avaliados isoladamente, e também no emprego e compreensão deste conceito na estequiometria. De certa forma, a conservação, avaliada por nós sobre a perspectiva das massas na reação e das partículas, mediante representação, foram mais familiares aos estudantes, do que quando comparados o seu emprego na estequiometria. Ponderamos assim que, os estudantes reconhecem a necessidade da conservação, nas reações químicas, mas tem considerável dificuldade em transpor esta concepção para a estequiometria, assim, o conceito da conservação da matéria estava mais fundamentado que a forma da qual esta ideia pode ser expressa, em meio a tantos outros conceitos.

Acerca das relações proporcionais, verificamos que a sua conceitualização, na estequiometria, revelou a complexidade a qual estas relações se referem, especialmente

quando nos referimos ao uso das propriedades intensivas e a determinação das fórmulas químicas. Neste âmbito, as relações proporcionais foram preconizadas pelos estudantes em seus distintos níveis de complexidade, no entanto, sempre que um invariante operatório foi expresso, em um nível menor que o exigido pelo problema, os estudantes não eram conclusivos sobre o requisitado. Desta forma, verificamos que eles expressavam a compreensão de diversas relações proporcionais, especialmente das variáveis de relações diretas e indiretas, mas nem sempre bastava para concluir o problema proposto.

Sobre a massa molar, analisamos que os estudantes aplicaram de forma satisfatória este conceito na estequiometria, assim, não tiveram dificuldade em calcular e propor relações entre este conceito e outras variáveis. Contudo, as situações em que este conceito estava previsto, separadamente, indicaram que os alunos possuem invariantes operatórios que não a relevam como um padrão estabelecido, ou ainda, que não demonstram a sua relação com um número definido de partículas. Deste modo, consideramos que os estudantes estão mais familiarizados com a aplicação deste conceito, que com sua concepção, mesmo que as duas formas de expressar este conhecimento impliquem na conceitualização da massa molar.

Também investigamos os símbolos, nas fórmulas químicas e nas reações químicas. Deste modo, percebemos que os estudantes tiveram mais facilidade em conceitualizar algumas questões sobre os símbolos, quando se encontravam em fórmulas químicas do que em equações químicas, e quando relacionados à estequiometria, poucos estudantes exprimiram invariantes operatórios sobre a relação entre o símbolo e os conceitos a ele inerentes. Nesta ótica avaliamos que existiu o reconhecimento de alguns símbolos químicos, mas a delimitação em utilizá-los na estequiometria se deu pela pequena compreensão conceitual a eles referente, o que reflete na forma como se compreende a reorganização dos elementos que estão representados por estes símbolos.

Por fim, a unidade mol também foi avaliada, e neste âmbito, verificamos que os estudantes possuíam mais facilidade em apresentar invariantes operatórios sobre as relações entre o mol e outras variáveis, identificadas por meio das atividades de estequiometria, que os aspectos conceituais referentes a esta unidade. Ambas as formas de conhecimento, fazem parte do processo de conceitualização desta unidade, no entanto, outras situações deverão ser promovidas de modo que estes estudantes possam formular uma base conceitual mais sólida para esta unidade.

Em decorrência destas ponderações, verificamos que, todos os conhecimentos aqui analisados são pertinentes para a conceitualização da estequiometria e, todos mostraram certa

similaridade quanto aos aspectos conceituais que envolvem estes conceitos, no sentido de que, os estudantes mobilizaram invariantes operatórios mais adequados quando não exista necessidade de argumentação, ou seja, somente o conhecimento operatório.

Destarte, consideramos que a conceitualização se remete a um processo, que, sobretudo, necessita da formação conceitual, nos termos usados pela Teoria dos Campos Conceituais, ou seja, do conjunto dos invariantes operatórios, das representações e situações, formando um todo coerente para o indivíduo. No entanto, com exceção da conservação da matéria, os estudantes mobilizaram poucos invariantes que se remetiam a considerações mais adequadas, do ponto de vista científico, e bases mais sólidas que correspondessem à compreensão dos outros conceitos. Assim, sobre a conceitualização destes fundamentos, verificamos que a ideia do “todo coerente” enunciado por Vergnaud, sobre um conceito, apareceu mais explicitamente quando tratamos sobre os processos de conservação. Já para os conceitos de massa molar, proporcionalidade na estequiometria, mol, símbolos, notamos invariantes operatórios desconectados, que demonstram somente o preâmbulo de sua conceitualização.

Com isso, os estudantes demonstraram mais dificuldades em traçar relações entre estes conceitos, ou seja, na estequiometria, salvo quando apareciam mais operacionalizadas, o que pode ser vislumbrado no Quadro 39.

Quadro 39: Implicações sobre a análise dos invariantes operatórios mobilizados nas situações sobre estequiometria

Conceito	Implicações sobre a análise dos invariantes operatórios nas situações sobre estequiometria
A massa molar na estequiometria	<ul style="list-style-type: none"> -Os estudantes tiveram mais facilidade em conceitualizar a conservação da matéria no âmbito das relações que não se inseriam diretamente na estequiometria (aspectos da massa, da teoria); -Expressaram invariantes sobre a não conservação nas representações; -Menos da metade dos estudantes mobilizou invariantes sobre a conservação da matéria na estequiometria.
Proporcionalidade na estequiometria	<ul style="list-style-type: none"> -Estudantes ainda expressaram invariantes sobre as relações diretas e indiretas nas situações propostas; -A maioria ponderou sobre as propriedades intensivas na resolução dos problemas, mesmo quando exigia-se o conhecimento das relações proporcionais em fórmulas químicas; -Poucos conseguiram estabelecer relações proporcionais para a determinação de fórmulas químicas.
Massa molar na estequiometria	<ul style="list-style-type: none"> -Os estudantes tiveram mais facilidade em mobilizar invariantes sobre relações entre as massas experimentais, massa padrão e a quantidade de partículas na estequiometria;

	<p>-Nas situações individuais, sobre a massa molar, poucos a vislumbraram como uma massa padrão;</p> <p>-Poucos tiveram dificuldade em calcular a massa molar;</p> <p>-Alguns estudantes determinavam a massa molar, mas, tinham dificuldade em utilizar os dados empíricos da situação.</p>
Símbolos na estequiometria	<p>-Os estudantes mobilizaram mais vezes os invariantes sobre a existência de relações entre os símbolos e o que eles representam nas fórmulas químicas e equações químicas, quando comparados à estequiometria;</p> <p>-Dificuldades em diferenciar átomos de moléculas;</p> <p>-Poucos estipularam relações entre os dados empíricos e teóricos na determinação das fórmulas químicas.</p>
Constante de Avogadro e o mol na estequiometria	<p>-Grande parte dos estudantes mobilizou invariantes operatórios sobre a utilização do mol como uma unidade de medida na estequiometria;</p> <p>-Também indicaram relações entre o mol e as propriedades intensivas, número definido de partículas e a massa molar;</p> <p>-Apesar disso, poucos significaram o mol como uma unidade de medida nas situações em que este questionamento era explícito.</p>

Fonte: Autoria Própria.

A guisa de conclusão desta pesquisa ponderamos que os invariantes operatórios que podem dificultar a ampliação e/ou constituição do campo conceitual da estequiometria, estão relacionados a:

- Considerações fiáveis sobre a conservação da matéria, que pouco se transpuseram para aplicação de informações numéricas, empíricas e representações;
- Utilização de relações adequadas, mas de menor complexidade que as necessárias nas situações propostas;
- Não reconhecimento da massa molar como um padrão estabelecido, assim, dificuldade fundar correlações a dados empíricos;
- Ponderações sobre fórmulas químicas, de substâncias, quando estas não estão situadas em equações químicas, em meio a informações empíricas e/ou teóricas;
- Emprego do mol como uma unidade de medida, em situações que necessitavam uso de algoritmos, mas não em situações que requeriam compreensão conceitual do mol e que permitem a transposição entre aspectos particulares e macroscópicos.

Assim, a presente investigação possibilitou apresentar a Teoria dos Campos Conceituais que se mostrou relevante para o entendimento dos processos de desenvolvimento dos conhecimentos científicos pelos indivíduos, além de se constituir um bom referencial para o estudo, elaboração e compreensão de práticas para o ensino de ciências, o que foi evidenciado em nossa revisão bibliográfica. Neste sentido foram vislumbradas as

potencialidades da TCC, especialmente nas aplicações de situações significativas e na compreensão do processo do desenvolvimento conceitual, mediante análise dos invariantes operatórios. Embora a TCC revele uma vasta literatura, em especial para conceitos matemáticos e físicos, sua abordagem ainda é pouco explorada na compreensão do desenvolvimento dos processos cognitivos sobre os conceitos químicos, assim, buscamos relacionar a TCC com a estequiometria, enfatizando o processo de conceitualização deste campo conceitual.

Em decorrência desta investigação, vislumbramos, para pesquisas futuras:

- Aplicação desta investigação em outros contextos educacionais (educação básica e em outras Instituições de Ensino Superior);
- A promoção de situações que enfatizem os aspectos da conceitualização da estequiometria, em vários âmbitos da educação, no sentido de que as situações aplicadas nesta investigação, com foco na aprendizagem, possam contribuir para a ampliação e desenvolvimento de conhecimentos sobre a estequiometria.

BIBLIOGRAFIA

- ACIOLY-RÉGNIER, N. M.; MONIN, N. Da teoria dos campos conceituais à didática profissional para a formação de professores: contribuição da psicologia e da sociologia para a análise de práticas pedagógicas. **Educação Unisinos**, v. 13, n. 1, p. 5-16, janeiro/abril 2009.
- AGUNG, S.; SCHWARTZ, M. S. Students' Understanding of Conservation of Matter, Stoichiometry and Balancing Equations in Indonesia. **International Journal of Science Education**, v. 29, n. 13, p. 1679-1702, 2007.
- ANDRADE NETO, A. S.; RAUPP, D.; MOREIRA, M. A. A evolução histórica da linguagem representacional química: uma interpretação baseada na teoria dos campos conceituais. **Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Florianópolis, 2009.
- ANDRADE, P. V. C. C.; ACIOLY-RÉGNIER, N. M. Utilização de um dispositivo pedagógico tecnológico híbrido na formação de professores na França. **Educação Unisinos**, v. 20, n. 1, p. 117-128, janeiro/abril 2016.
- ANJOS, A. J. S.; SAHELICES, C. C.; MOREIRA, M. A. As equações matemáticas no ensino de Física: Uma análise de conteúdos em livros didáticos de Física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 14, n. 3, p. 312-325, 2015.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução de Ricardo Bicca Alencastro. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- AVOGADRO, A. Essay on a Manner of Determining the Relative Masses of the Elementary Molecules of Bodies, and the Proportions in Which They Enter into These Compounds. **Journal de Physique**, v. 73, p. 58-76, 1811.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BARÁNSKI, A. The Atomic Mass Unit, the Avogadro Constant, and the Mole: A Way To Understanding. **Journal of Chemical Education**, v. 89, p. 97-102, 2012.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BATINGA, V. T. S.; TEIXEIRA, F. M. A Abordagem de Resolução de Problemas por uma professora de Química: análise de um problema sobre a Combustão do Álcool envolvendo o conteúdo de Estequiometria. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 1, p. 24-52, Jan-Abr 2014.
- BERZELIUS, J. J. Essay on the cause of chemical porportion, and on some circuntaces related to them: together with a short and easy Method of expressin them. **Annals of Philosophy**, p. 51-62, 1814.

BERZELIUS, J. J. **Essai sur la Théorie des Proportions Chimiques et sur l'Influence chimique de l'Électricité**. Paris: Mequignon-Mervis, 1819.

BODNER, G. M.; HERRON, J. D. Problem-Solving in Chemistry. In: GILBERT, J. K.; DE JONG, O.; JUSTI, R.; TREAGUST, D. F.; VAN DRIEL, J. H. **Chemical Education: Research-based Practice**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

BOUJAOUDE, S.; BARAKAT, H. Secondary school students' difficulties in stoichiometry. **School Science Review**, v. 81, n. 296, p. 91-98, 2000.

BOUJAOUDE, S.; BARAKAT, H. Students' Problem Solving Strategies in Stoichiometry and their Relationships to Conceptual Understanding and Learning Approaches. **Electronic Journal of Science Education**, v. 7, n. 3, Mar 2003.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Concepções e dificuldades dos professores de Física no campo conceitual da modelagem científica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 3, p. 669-695, 2010.

BRAVO, S.; PESA, M. Evaluación del aprendizaje de interferencia y difracción de la luz en el laboratorio de física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 21, n. 2, p. 68-104, 2016.

BRITO, M. S.; DAMASCENO, H. C.; WARTHA, E. J. As representações mentais e a simbologia química. **XIV Encontro Nacional de Ensino de Química**, Curitiba, 2008.

BROWN, T. L.; LEMAY JR., H. E.; BURSTEN, B. E.; MURPHY, C. J.; WOODWARD, P. M.; STOLTZFUS, M. W. **Química: a ciência central**. 5 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

BRUNI, A. T. et al. **Ser Protagonista: química**. 2 ed. São Paulo: Edições SM, v. 1, 2013.

BUENO FILHO, M. A. **Conhecimento estereoquímico na acepção da Teoria dos Campos Conceituais**. 2010. 280f. Tese (doutorado em química) - Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Departamento de Química Fundamental, São Paulo, 2010.

BUENO FILHO, M. A.; NASCIMENTO, M. G. Cognitive Schemes of Teachers on Organic Chemistry Tasks. In: 23rd International Conference on Chemistry Education Research, Theory and Practice on Chemistry Didactics and IXth IOSTE Symposium for central and Eastern Europe Science and Technology Education for the XXIst Century, Hradec Králové. **Research, Theory and Practice in Chemistry Didactics**, p. 53-62, 2014.

CAVALCANTE, R. B.; CALIXTO, P.; PINHEIRO, M. M. K. Análise de Conteúdo: considerações gerais, relações com a pergunta de pesquisa, possibilidades e limitações do método. **Informação & Sociedade: Estudos**, João Pessoa, v. 24, n. 1, p. 13-18, 2014.

CHAGAS, A. P. Os Noventa Anos de Les Atomes. **Química Nova na Escola**, v. 17, p. 36-38, Maio 2003.

CHANDRASEGARAN, A. et al. Students' dilemmas in reaction stoichiometry problem solving: deducing the limiting reagent in chemical reactions. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 10, p. 14-23, 2009.

CHASSOT, A. I. **A Educação no Ensino de Química**. Ijuí: UNIJUÍ, 1990.

COLAGRANDE, E. A. **Desenvolvimento de um jogo didático para o aprendizado do conceito de mol**. 2008. 110f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Pós-Graduação em Química, USP, São Paulo, 2008.

COSTA, A. A.F.; SOUZA, J. R. T. Obstáculos no processo de ensino e de aprendizagem de cálculo estequiométrico. **Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v.10, n.19, p.106-116, 2013.

COVALEDA, R.; MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C. Los conceptos de sistema y equilibrio en el proceso de enseñanza/aprendizaje de la Mecánica y Termodinámica. Posibles invariantes operatorios. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 2, p. 722-744, 2009.

CUDMANI, L. C.; PESA, M. A. La evolución de los significados de los conceptos científicos en relación con la estructura cognitiva de los estudiantes. **Ciência e Educação**, v. 14, n. 3, p. 365-380, 2008.

DA SILVA, D. R.; DEL PINO, J. C. Como estudantes compreendem uma reação química? Concepções sobre um processo de combustão. **Ciências & Cognição**, v. 19, n. 3, p. 352-367, 2014.

DAHSAH, C.; COLL, R. K. Thai Grade 10 and 11 students' conceptual understanding and ability to solve stoichiometry problems. **Research in Science & Technological Education**, v. 25, n. 2, p. 227-241, 2007.

DAHSAH, C.; COLL, R. K. Thai grade 10 and 11 students understanding of stoichiometry and related concepts. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 6, p. 573-600, 2008.

DALTON, J. **A New System of Chemical Philosophy**. Manchester: [s.n.], v. 1, 1808.

DAVIDOWITZ, B.; CHITTLEBOROUGH, G.; MURRAY, E. Student-generated submicro diagrams: a useful tool for teaching and learning chemical equations and stoichiometry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 11, p. 154-164, 2010.

DRESSLER, A. C.; ROBAINA, J. V. L. Ensino de estequiometria através de práticas pedagógicas. **III Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia (SINECT)**, Ponta Grossa, 26 a 28 Setembro 2012.

ESCUADERO, C.; JAIME, E. Conocimientos–en–acción: un estudio acerca de la integración de las fuerzas y la energía en cuerpo rígido. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, p. 115-133, 2009.

- ESCUADERO, C.; JAIME, E. A. La comprensión de la situación física en la resolución de situaciones problemáticas. Un estudio en dinámica de las rotaciones. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 1, 2007.
- EVANS, K. L.; YARON, D.; LEINHARDT, G. Learning stoichiometry: a comparison of text and multimedia formats. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 9, p. 208-218, 2008.
- EYSENCK, M.; KEANE, M. **Cognitive Psychology A Student's Handbook**. 4 ed. New York: Psychology Press Ltd, 2000.
- FACH, M.; DE BOER, T.; PARCHMANN, I. Results of an interview study as basis for the development of stepped supporting tools for stoichiometric problems. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 8, n. 1, p. 13-31, 2007.
- FANARO, M. D. L. Á.; OTERO, M. R.; MOREIRA, M. A. Teoremas-en-acto y conceptos-en-acto en dos situaciones relativas a la noción de sistema cuántico. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 3, 2009.
- FERRARINI, S. O.; RANCICH, A. M. Conservación de masa, peso y volumen en escolares de una población marginal de Argentina. **Revista Latinoamericana de Psicología**, v. 21, n. 2, p. 165-175, 1989.
- FIGUEROA, P. S.; OTERO, M. R. Nociones fundamentales de la Teoría de los Campos Conceptuales. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 6, n. 1, p. 124-138, ene./jul. 2011.
- FILGUEIRAS, C. A. L. Duzentos Anos da Teoria Atômica de Dalton. **Química Nova na Escola**, v. 20, p. 38-44, Novembro 2004.
- FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução de Joice Elias Costa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- FLICK, U. **Introdução à metodologia de pesquisa: um guia para iniciantes**. Tradução de Magda Lopes. Porto Alegre: Penso, 2013.
- FLUCKIGER, A. Macro-situation and numerical knowledge. **Educational Studies in Mathematics**, v. 59, p. 59-84, 2005.
- FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 3, p. 359-376, 1999.
- FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. The learning and teaching of the concepts "amount of substance" and "mole": a review of the literature. **Chemistry education: research and practice in Europe**, v. 3, n. 3, p. 277-292, 2002.

GALAGOVSKY, L.; GIUDICE, J. Estequiometría y ley de conservación de la masa: una relación a analizar desde la perspectiva de los lenguajes químicos. **Ciência e Educação**, v. 21, n. 1, p. 85-99, 2015.

GALLEGO, L. A. G. **La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud en la enseñanza del movimiento rectilíneo con aceleración constante: propuesta metodológica para los estudiantes de grado décimo de la I.E. El Trébol en el municipio de Chinchiná.** 2015. 107f. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Manizales, 2015.

GILBERT, J. K.; CHENG, M. Towards a better utilization of diagrams in research into the use of representative levels in chemical education. In: GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. F. **Multiple representations in Chemical Education.** New York: Springer Science & Business Media, p. 55-73, 2009.

GLAZAR, S. A.; DEVETAK, I. Secondary school student's knowledge of stoichiometry. **Acta Chimica Slovenica**, v. 49, p. 43-53, 2002.

GOMES, R. S.; MACEDO, S. H. Cálculo estequiométrico: o terror nas aulas de Química. **Vértices**, v. 9, n. 1/3, p. 149-160, 2007.

GONZALEZ, I. M.; SILVA, J. L. P. B. As fórmulas químicas literais de Berzelius e a composição dos materiais: uma função signífica nas aulas de química. **Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Águas de Lindóia, 2013.

GONZALEZ, I. M. **Composição Química: estudos semióticos e psicológicos.** 2016. 253f. Tese (Doutorado em ensino, filosofia e história das ciências) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física, Salvador, 2016.

GRENIER, D. **La théorie des champs conceptuels et le modèle de conception (Notes de cours).** Grenoble Master2 R et P IC2A Didactique des Sciences. UE TC1 Eléments d'épistémologie et de Didactique. Grenoble. 2007. Disponível em: <http://imss-www.upmf-grenoble.fr/prevert/SpecialiteDEMS/Cours%202007/UE1/coursTCC%20Conceptions.pdf>. Acesso em out. 2017.

GRINGS, E. T. D. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da Termodinâmica. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 7, n. 1, p. 23-46, 2008 (a).

GRINGS, E. T. D. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Uma proposta didática para abordar o conceito de temperatura a partir de situações, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 1-21, jan./abr. 2008 (b).

GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 463-471, 2006.

GULACAR, O.; OVERTON, T. L.; BOWMAN, C. R.; FYNEWEVERD, H. A novel code system for revealing sources of students' difficulties with stoichiometry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, p. 507-515, 2013.

HANSON, R. Ghanaian Teacher Trainees' Conceptual Understanding of Stoichiometry. **Journal of Education and e-Learning Research**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2016.

HENRÍQUEZ, A. L.; JIMÉNEZ-GALLARDO, C.; DÍAZ-PINTO, W. L. Aprendizaje de los conceptos de fuerza y energía en estudiantes de ingeniería: un estudio exploratorio. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 14-23, Junio 2013.

HERRON, J. D. Piaget for Chemists: Explaining what good students cannot understand. **Journal of Chemical Education**, v. 52, n. 3, p. 146-150, 1975.

HILGER, T. R.; OLIVEIRA, Â. M. M. O problema dos teoremas-em-ação sobre a força de atrito na disciplina de física geral para graduação. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 5, n. 1, p. 54-70, jan./abr. 2012.

IUPAC. **Compendium of Chemical Terminology (the "Gold Book")**. 2 ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1997.

IUPAC. Glossary of terms in quantities and units in Clinical Chemistry. **Pure and Applied Chemistry**, v. 68, n. 4, p. 957-1000, 1996.

JACOB, C. Analysis and Synthesis: Interdependent Operations in Chemical Language and Practice. **International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 7, n. 1, p. 31-50, 2001.

JAIME, E. A.; ESCUDERO, C. El trabajo experimental como posible generador de conocimiento en enseñanza de la física. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 29, n. 3, p. 371-380, 2011.

JENSEN, W. B. The Origin of the Mole Concept. **Journal of Chemical Education** 1409, v. 81, n. 10, p. 1409, October 2004.

KANT, I. **Crítica da Razão Pura**. Tradução de Manuela Pinto dos Santos e Alexandre Fradique Morujão. 5ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

KEIG, P. F.; RUBBA, P. A. Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 8, p. 883-903, 1993.

KIOURANIS, N. M. M.; BATISTON, W. P.; SILVA, C. F. N. Compreensão da linguagem química simbólica por alunos de ensino médio. **XVI Encontro Nacional de Ensino de Química**, Salvador, 2012.

KOTZ, J. C. et al. **Química geral e reações químicas**. 9 ed. São Paulo: Cengage Learning, v. I, 2016.

KRAJCIK, J. S.; HANEY, E. R. Proportional Reasoning and Achievement in High School Chemistry School. **Science and Mathematics**, v. 87, n. 1, p. 25-32, January 1987.

KREY, I. **Implementação de uma proposta de ensino na disciplina de Estrutura da Matéria baseada na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud**. 2009. 296f. Tese (Doutorado em ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

KREY, I.; MOREIRA, M. A. Implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza para el tópico física de partículas en una disciplina de estructura de la materia basada en la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 3, p. 812-833, 2009.

LAMEU, L. D. P. **Efeito Fotoelétrico no ensino fundamental: uma proposta à luz da Teoria dos Campos Conceituais**. 2014. 144f. Dissertação (mestrado profissional em ensino de ciências) - UNIFEI - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. Itajubá, 2014.

LAVOISIER, A. L. **Traité Élémentaire de Chimie**. Paris: Chez Cuchet, 1789.

LEDESMA, E. F. R. A Cognitive Analysis When the Students Solve Problems. **Creative Education**, v. 3, n. 4, p. 400-405, 2012.

LIMA, L. R. F. C.; BELLO, M. E. R. B. Onde se escondeu a química? Dessa vez na cozinha! Desmistificando a química nas séries iniciais do Ensino Fundamental. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 26-58, 2015.

LIMA, M. S. D.; SANTOS, J. V. C. **A Teoria dos Campos Conceituais e o Ensino de Cálculo**. Curitiba: Appris, 2015.

LIPELES, E. S. The Chemical Contributions of Amadeo Avogadro. **Journal of Chemical Education**, v. 60, n. 2, p. 127-128, February 1983.

LOURENÇO, I. M. B.; MARCONDES, M. E. R. Um plano de ensino para mol. **Química Nova na Escola**, v. 18, p. 22-25, Novembro 2003.

MAAR, J. H. **História da Química - segunda parte: de Lavoisier ao sistema periódico**. Florianópolis: Papa-Livro, 2011.

MAHAN, B. M.; MYERS, R. J. **Química: um curso universitário**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

MARQUARDT, R. et al. Definition of the mole (IUPAC Recommendation on 2017). **Pure and Applied Chemistry**, v. 90, n. 1, p. 175–180, 2018.

MARTINEZ, M. S.; DE LONGHI, A. L. Identificación y categorización de dificultades de lectocomprensión en enunciados de problemas de lápiz y papel de estequiometría. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 10, n.2, p.136-147, 2013.

MARTINS, R. D. A.; MARTINS, L. A.-C. P. Lavoisier e a Conservação da Massa. **Química Nova**, v. 16, n. 3, p. 245-256, 1993.

MASON, D. S.; SHELL, D. F.; CRAWLEY, F. E. Differences in problem solving nonscience majors in introductory chemistry on paired algorithmic-conceptual problems. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 9, p. 905-923, 1997.

MATOS, S. A.; MARTINS, C. M. C. O ensino por investigação como campo conceitual na teoria de Vergnaud. **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Campinas, dezembro 2011. 1-12. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viii-enpec/resumos/R0010-1.pdf>. Acessado em jan. 2017.

MENDES, C. S.; MARANHO, J.; GONDIM, M. S. De pesos atômicos a outros conceitos: o que sabem os ingressantes de um curso de licenciatura em Química? **Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC**, Águas de Lindóia, 10 a 14 Novembro 2013.

MICHAELIS. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/situa%C3%A7%C3%A3o/>. Acesso em: 02 Setembro 2017.

MICHAŁOWSKA-KACZMARCZYK, A. M.; ASUERO, A. G.; MICHAŁOWSKI, T. “Why Not Stoichiometry” versus “Stoichiometry—Why Not?” Part I: General Context. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 45, p. 166-188, April 2015.

MIGLIATO FILHO, J. R. **Utilização de modelos moleculares no ensino de estequiometria para alunos do ensino médio**. 2005. 120f. Dissertação (Mestrado em química) - Programa de Pós-Graduação em Química, UFSCar, São Carlos, 2005.

MINAYO, M. C. S. O Desafio da Pesquisa Social. In: MINAYO, M. C. S.; SUELY, F. D.; GOMES, R. **Pesquisa Social: teoria, método e criatividade**. 28 ed. Petrópolis: Vozes, 2009. p. 108.

MITCHELL, I.; GUNSTONE, R. Some student conceptions brought to the study of stoichiometry. **Research in Science Education**, v. 14, p. 78-88, 1984.

MOTA, A. T.; REZENDE JUNIOR, M. F. A Teoria dos Campos Conceituais: uma possibilidade para o planejamento didático no ensino de astronomia. In: **II Simpósio Nacional de Educação em Astronomia**, São Paulo. SNEA 2012 - II Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 2012.

MONTILLA, L.; ARRIETA, X. Secuencia didáctica para el aprendizaje significativo del análisis volumétrico. **Omnia**, Maracaibo, v. 21, n. 1, p. 66-79, 2015.

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MOREIRA, M. A. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.7, n.1, p. 7-29, 2002.

MUKAI, H.; FERNANDES, P. R. G. Determinação do número de Avogadro através de uma gota de solução de ácido oléico/azeite de oliva. In: AMARAL, L. Q. **Entre sólidos e**

Líquidos: uma visão contemporânea e multidisciplinar para formação de professores e divulgação do conhecimento. São Paulo: Edotira Livraria da Física, p. 272, 2014.

NASCIMENTO, M. G.; BUENO FILHO, M. A. Investigações sobre o entrelaçamento de Campos Conceituais em um curso de Química Verde. **Anais do 11º Simpósio Brasileiro de Educação Química**, Teresina, 2013.

NIAZ, M.; MONTES, L. A. Understanding stoichiometry: Towards a history and philosophy of chemistry. **Educación Química**, v. 23, n. 2, p. 290-297, May 2012.

OBANDO, G.; VASCO, C. E.; ARBOLEDA, L. C. Enseñanza y aprendizaje de la razón, la proporción y la proporcionalidad: un estado del arte. **Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa**, v. 17, n. 1, p. 59 - 81, 2014.

OKI, M. D. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 1072-1082, 2009.

OKI, M. C. M. O conceito de elemento: da antiguidade à modernidade. **Química Nova na Escola**, v. 16, p. 21-25, Novembro 2002.

OLLAIK, L. G.; ZILLER, H. M. Concepções de validade em pesquisas qualitativas. **Educação e Pesquisa**, v. 38, n. 1, p. 229-241, 2012.

OSTWALD, W. **Grundlagen der anorganischen Chemie**. Leipzig: Engelmann, 1900.

OTERO, M. R. La Notion de Situation: analysée depuis la Théorie des Champs Conceptuels, la Théorie des Situations, la Dialectique Outil-Object et la Théorie Anthropologique du Didactique. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 5, n. 1, p. 42-53, ene./jul. 2010.

ÖZMEN, H.; AYAS, A. Students difficulties in understanding of the conservation of matter in open and closed-system chemical reactions. **Chemistry Education: Research and Practice**, v. 4, n. 3, p. 279-290, 2003.

PADILLA, K.; FURIÓ, C. The importance of history and philosophy of science in correcting distorted views of 'Amount of substance' and 'Mole' concepts in chemistry teaching. **Science & Education**, v. 17, n. 4, p. 403-424, 2008.

PANE, M. C. et al. Teoria dos Campos Conceituais aplicada na verificação dos avanços e retrocessos no campo conceitual de soluções. **Anais do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química**, Salvador, 2012.

PARISOTO, M. F.; MOREIRA, M. A.; MORO, J. T. Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação na Física aplicada à Medicina. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 6, n. 3, p. 114-128, Dezembro 2013.

PATIÑO, M. M. L. **Transformación de la materia: enseñanza de los cambios físicos y químicos para niños de quinto grado de una escuela rural**. 2017. 75f. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ciencias, Medellín, 2017.

PATY, M. **A matéria roubada: a apropriação crítica do objeto da física contemporânea.** Tradução de Mary Amazonas Leite Barros. São Paulo: EDUSP, 1995.

PERRIN, J. B. **Les Atomes.** [S.l.]: Librairie Félix Alcan, 1913.

PIAGET, J. **Biologia e Conhecimento: ensaio sobre as relações entre as regulações orgânicas e os processos cognoscitivos.** Tradução de Francisco M. Guimarães. Petrópolis: Vozes, 1973.

PIAI, D. **Hipóteses Sobre a Combustão Entre Alunos do Ensino Médio: A Epistemologia de Gaston Bachelard.** 2007. 135f. Dissertação (Mestrado em educação para a ciência e a matemática) - Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino da Matemática, UEM, Maringá, 2007.

PITOMBO, L. R. M. et al. **Interações e Transformações I: Elaborando Conceitos sobre Transformações Químicas - GEPEQ.** 2ed. São Paulo: Edusp, v. Livro do Aluno, 2012.

PLAISANCE, É.; VERGNAUD, G. **As Ciências da Educação.** Tradução de Nadyr de Salles Penteadó e Odila Aparecida Queiroz. São Paulo: Edições Loyola, 2003.

RAMFUL, A.; NAROD, F. B. Proportional reasoning in the learning of chemistry: levels of complexity. **Mathematics Education Research Journal**, v. 26, p. 25–46, 2014.

RAMÍREZ, J. E. M.; CHÁVEZ, J. H.; LÓPEZ; V. H. G.; JIMÉNEZ, W. F.; CASAS, J. ¡¡Estequiometria visible!! **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 6, n. 3, p. 477-482, 2009.

RAUPP, D. T. **Um estudo de caso sobre a compreensão de conceitos químicos mediante visualização de representações computacionais 3D utilizando o referencial de Campos Conceituais.** 2010. 108f. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências e a matemática) - Programa de Pós - Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2010.

RAVIOLO, A.; LERZO, G. Enseñanza de la estequiometría: uso de analogías y comprensión conceptual. **Educación Química**, v.27, p.195-204, 2016.

RICHTER, J. B. **Anfangsgrunde der Stochyometrie oder Messkunst Chymischer Elemente.** [S.l.]: Breblau-Hirschberg, v. 1, 1792.

ROGADO, J. **Quantidade de Matéria e Mol – Concepções de ensino e aprendizagem.** 2000. 171f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação - Universidade Metodista de Piracicaba, UNIMEP, Piracicaba, 2000.

ROGADO, J. A grandeza quantidade de matéria e sua unidade, o mol: algumas considerações sobre dificuldades de ensino e aprendizagem. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 1, p. 63-73, 2004.

ROGADO, J. Ensino e Aprendizagem da grandeza quantidade de matéria e sua unidade, o mol: a importância da história da ciência para sua compreensão. **Enseñanza de las Ciencias**, 2005. Número extra.

ROSA, M. I. D. F. P. S.; SCHNETZLER, R. P. Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**, v. 8, p. 31-35, Novembro 1998.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**. 2 ed. São Paulo: Pearson, v. 1, 1994.

SAMSRLA, V. E. E.; EICHLER, M. L.; DEL PINO, J. C. A elaboração conceitual em realidade escolar de noções de conservação da matéria. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 3, p. 496-521, 2007.

SANTANA, E. R. D. S. **Adição e Subtração**: o suporte didático influencia a aprendizagem do estudante? Ilhéus: Editus, 2012.

SANTOS, L. C. **Dificuldades de aprendizagem em estequiometria: uma proposta de ensino apoiada na modelagem**. 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em ensino de ciência naturais e matemática) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, UFRN, Natal, 2013.

SANTOS, L. C.; SILVA, M. G. L. **O estado da arte sobre estequiometria**: dificuldades de aprendizagem e estratégias de ensino. IX Congreso Internacional de Investigación sobre Didáctica de las Ciencias. Girona: [s.n.]. 2013.

SANTOS, L. C.; SILVA, M. G. L. Conhecendo as dificuldades de aprendizagem no ensino superior para o conceito de estequiometria. **Acta Scientiae**, v. 16, n. 1, p. 133-152, 2014.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

SCHEFFLER, G. L.; PINO, J. C. D. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e o ensino de radioatividade. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 1, p. 29-46, 2013.

SILVA, J. D. A.; SOUZA, C. M. S. G. Modelo ondulatório como estratégia de promoção da evolução conceitual em tópicos sobre a luz em nível médio. **Ciência e Educação**, v. 20, n. 1, p. 23-41, 2014.

SILVA, M. A. E.; PITOMBO, L. R. M. Como os Alunos Entendem Queima e Combustão: Contribuições a Partir das Representações Sociais. **Química Nova na Escola**, v. 23, p. 23-26, 2006.

SILVEIRA, L. F. S. **Uma contribuição para o ensino de Genética**. 2008. 123f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) - PUCRS, Fac. de Física, Porto Alegre, 2008.

SOARES, M. A. C. P. **A grandeza “quantidade de matéria” e sua unidade “mol”**: uma proposta de abordagem histórica no processo de ensino-aprendizagem. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática) - Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática, UEM, Maringá, 2006.

SOUZA, E. S. R. Etnofísica, modelagem matemática, geometria. tudo no mesmo Manzuá. **Revista Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 9, n. 18, p. 99-112, jan-jun 2013.

STAVY, R. Using Analogy to Overcome Misconceptions About Conservation of Matter. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 28, n. 4, p. 305-313, 1991.

STIPCICH, S.; MOREIRA, M. A.; CABALLERO, C. Un modelo para analizar las interacciones discursivas en clases de Física. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 2, n. 1, p. 1-22, Julio 2007.

SU, K. Tactic fulfillments of three correlations for problem-solving maps and animated presentations to assess students' stoichiometry performances. **Journal of Baltic Science Education**, v. 16, n. 5, p. 733-745, 2017.

SZABADVÁRY, F. **History of Analytical Chemistry**. Tradução de Svehla Gyula. Oxford: Pergamon Press, 1966.

SZABADVÁRY, F.; OESPER, R. E. The Birth of Stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, v. 39, n. 5, p. 267-270, May 1962.

TABER, K. S. P. Learning at the Symbolic Level. In: GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. **Models and Modeling in Science Educations: Multiple Representations in Chemical Education**. New York: Springer, p. 75-108, 2009.

TAUCEDA, K. C. **O contexto escolar e as situações de ensino em ciências : interações que se estabelecem na aprendizagem entre alunos e professores na perspectiva da teoria dos campos conceituais**. 2014. 416f. Tese (Doutorado em educação em ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Ciências Básicas da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Porto Alegre, 2014.

TAUCEDA, K. C.; DEL PINO, J. C. Processos cognitivos e epistemologias da teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud, do ensino narrativo e do aprender a aprender. **Ciências & Cognição**, v. 19, p. 256-266, 2014.

TAUCEDA, K. C.; NUNES, V. M.; DEL PINO, J. C. O desenvolvimento de possíveis indicadores de invariantes operatórios por estudantes do ensino médio na disciplina de biologia. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 1, p. 98-110, 2013.

TRISTÃO, J. C.; SILVA, G. F.; JUSTI, R. S. Estequiometria: Investigações em uma Sala de Aula Prática. **XIV Encontro Nacional de Ensino de Química (XIV ENEQ)**, Curitiba, 21 a 24 Julho 2008.

VERGNAUD, G. The acquisition of arithmetical concepts. **Educational Studies in Mathematics**, v. 10, p. 263-274, 1979.

- VERGNAUD, G. Association Cognitive and Developmental Psychology and Research in Mathematics Education: Some Theoretical and Methodological Issues. **For the Learning of Mathematics**, v. 3, p. 31-41, 1982.
- VERGNAUD, G. L'Elève Face à la Tâche: Problèmes à Résoudre, Difficultés à Surmonter. **European Journal of Psychology of Education**, v. 3, Supplement 1, p. 15-21, 1988.
- VERGNAUD, G. La teoría de los campos conceptuales. **Recherches en Didáctica des Mathématiques**, v. 10, n. 2, p. 133-170, 1990.
- VERGNAUD, G. Langage et pensée dans l'apprentissage des mathématiques. **Revue française de pédagogie**, v. 96, p. 79-86, 1991.
- VERGNAUD, G. A Teoria dos Campos Conceituais. In: BRUN, J. **Didáctica das Matemáticas**. Lisboa: Instituto Piaget, p. 155-191, 1996 (a).
- VERGNAUD, G. Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. **Perspectivas**, v. XXVI, n. 1, 1996 (b).
- VERGNAUD, G. A Comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education. **Journal of Mathematical Behavior**, v. 17, n. 2, p. 167-181, 1998.
- VERGNAUD, G. **Lev Vygotski: Pedagogo e Pensador do Nosso Tempo**. Tradução de Ayalla Kluwe Aguiar. Porto Alegre: GEEMPA, 2004.
- VERGNAUD, G. ¿En qué sentido la Teoría de los Campos Conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 285-302, 2007 (a).
- VERGNAUD, G. Représentation et activité : deux concepts étroitement associés. **Recherches en Education**, v. 4, 2007 (b).
- VERGNAUD, G. Gérard Vergnaud: "Todos perdem quando a pesquisa não é colocada em prática". **Nova Escola**, 2008. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/960/gerard-vergnaud-todos-perdem-quando-a-pesquisa-nao-e-colocada-em-pratica>. Acesso em: 01 Março 2017.
- VERGNAUD, G. The Theory of Conceptual Fields. **Human Development**, v. 52, p. 83-94, 2009.
- VERGNAUD, G. O longo e o curto prazo na aprendizagem da matemática. **Educar em Revista**, v. n. Especial 1, p. 15-27, 2011.
- VERGNAUD, G. Forme opératoire et forme predicative de la connaissance. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 2, p. 287-304, 2012.
- VERGNAUD, G. Conceptual Development and Learning. **Revista Currículum**, v. 26, p. 39-59, 2013 (a).

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

VERGNAUD, G. **A criança a matemática e a realidade**. Tradução de Maria Lucia Faria Moro. 3 ed. Curitiba: Editora UFPR, 2014.

VERGNAUD, G. Entrevista Gérard Vergnaud. **Revista GEEMPA**, Porto Alegre, v. 11, p. 15-23, 2015. Entrevista concedida à Candy Marques Laurendon.

VERGNAUD, G.; PASTRÉ, P.; MAYEN, P. La didactique professionnelle. **Revue française de pédagogie**, v. 154, p. 145-198, 2006.

VERGNAUD, G. O que é aprender? Por que Teoria dos Campos Conceituais? In: VERGNAUD, G. **O que é aprender? O iceberg da conceitualização. Teoria dos Campos Conceituais**. Porto Alegre: GEEMPA, p. 15-53, 2017.

WILLIAMS, R. February 1811: Amadeo Avogadro Enumerated the Molecular World. **American Physical Society**, v. 25, n. 2, p. 2;5, February 2016.

YARROCH, W. L. Student understanding of chemical equation balancing. **Journal of Research in Science Teaching** , v. 22, n. 5, p. 449-459, 1985.

APÊNDICE A – Termo de consentimento livre e esclarecido

Gostaríamos de convidá-lo a participar da pesquisa intitulada “O PROCESSO DE CONCEITUALIZAÇÃO DA ESTEQUIOMETRIA: UM ESTUDO À LUZ DA TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS”, que faz parte do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática e é orientado pela prof^a Dr^a Neide Maria Michellan Kiouranis da Universidade Estadual de Maringá. O objetivo da pesquisa é investigar a construção dos campos de conceitos de estudantes de Química no que diz respeito ao conteúdo de estequiometria, bem como, explorar se existe uma tendência na construção destes campos durante a graduação. Para que esta pesquisa seja realizada, serão aplicadas algumas questões referentes às atividades desenvolvidas nos encontros que foram propostos. Assim, as respostas fornecidas a tais atividades, serão os dados a serem analisados nessa pesquisa, bem como, as gravações de áudio e vídeo que ocorreram durante os encontros. Informamos que não há desconfortos/riscos inaceitáveis nesta pesquisa, sendo apenas o desconforto de ter trechos filmagens e respostas dos questionários divulgados na pesquisa, contudo, tomaremos todas as medidas para manter a identidade dos indivíduos no anonimato. Gostaríamos de esclarecer que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Informamos ainda que as informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa, e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade, sendo que as gravações feitas durante a pesquisa serão transcritas e destruídas após a conclusão da pesquisa.

Espera-se com esta pesquisa contribuir para o ensino de Química no que tange à construção de conceitos na formação inicial de professores. Caso você tenha mais dúvidas ou necessite maiores esclarecimentos, pode nos contatar nos endereços abaixo ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa da UEM, cujo endereço consta deste documento. Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas, devidamente preenchida e assinada entregue a você.

Além da assinatura nos campos específicos pelo pesquisador e por você, solicitamos que sejam rubricadas todas as folhas deste documento. Isto deve ser feito por ambos (pelo pesquisador e por você, como sujeito ou responsável pelo sujeito de pesquisa) de tal forma a garantir o acesso ao documento completo.

Página 1 de 2

Eu,....., declaro que fui devidamente esclarecido e concordo em participar VOLUNTARIAMENTE da pesquisa realizada por Débora Piai Cedran

_____ Data:.....

Assinatura

Eu, Débora Piai Cedran, declaro que forneci todas as informações referentes ao projeto de pesquisa supra-nominado.

_____ Data:.....

Assinatura do pesquisador

Qualquer dúvida com relação à pesquisa poderá ser esclarecida com o pesquisador, conforme o endereço abaixo:

Nome: Débora Piai Cedran

Endereço: Avenida Colombo, 5790, Bloco 26, sala 08, Maringá - PR

(44) 991241211 / depiai@yahoo.com.br

Qualquer dúvida com relação aos aspectos éticos da pesquisa poderá ser esclarecida com o Comitê Permanente de Ética em Pesquisa (COPEP) envolvendo Seres Humanos da UEM, no endereço abaixo:

COPEP/UEM

Universidade Estadual de Maringá.

Av. Colombo, 5790. Campus Sede da UEM.

Bloco da Biblioteca Central (BCE) da UEM.

CEP 87020-900. Maringá-Pr. Tel: (44) 3261-4444

E-mail: copep@uem.br

Página 2 de 2

APÊNDICE B – Situação 1: Determinação de proporções entre substâncias em reações

Pergunta Inicial: Considere que os ácidos e bases disponíveis possuam a mesma concentração. Como é possível determinar a proporção na reação entre eles?

Experimento 1: Titulação entre ácido e base forte (A + B)

Procedimento:

Com o auxílio de uma pipeta volumétrica, transferir 5,00mL da solução ácida (A) para um frasco erlenmeyer de 250 mL. Em seguida, acrescentar água destilada ao erlenmeyer até cerca de 100mL e adicionar à mistura duas ou três gotas da solução do indicador ácido-base fenolftaleína. Carregar uma bureta de 25 mL, depois de enxaguá-la com pequenas porções da solução-padrão básica (B). Gotejar lentamente a solução B sobre a solução A, até observar a "viragem" do indicador. Esta mudança de coloração indica que praticamente todo o ácido contido na solução A foi neutralizado pelo hidróxido proveniente da solução B. Anotar o volume de solução B consumido na titulação. Repetir a operação mais uma vez e calcular o volume médio de titulante consumido na reação.

Questões sobre o experimento:

- 1) No experimento 1, quanto foi necessário do volume da base (B) para a neutralização do ácido (A)?
- 2) Por que você acha que foi necessário este volume para neutralizar a quantidade inicial de ácido?
- 3) Se um outro ácido fosse usado, seria necessária a mesma quantidade da base B? Por quê?
- 4) Se o volume do ácido fosse dobrado, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Explique o valor indicado.
- 5) Se a concentração da base fosse dobrada, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Como justifica esse valor?
- 6) Usando os cartões coloridos fornecidos, represente a reação entre A e B na neutralização.
- 7) Indique algum ácido e base que poderia ser usado como exemplo nesse experimento. Se possível forneça a reação entre eles.

Experimento 2: Titulação entre ácido e base forte (C + B)

Procedimento:

Com o auxílio de uma pipeta volumétrica, transferir 5,00mL da solução ácida (C) para um frasco erlenmeyer de 250 mL. Em seguida, acrescentar água destilada ao erlenmeyer até cerca de 100mL e adicionar à mistura duas ou três gotas da solução do indicador ácido-base fenolftaleína. Carregar uma bureta de 25 mL, depois de enxaguá-la com pequenas porções da solução-padrão básica (B). Gotejar lentamente a solução B sobre a solução C, até observar a "viragem" do indicador. Esta mudança de

coloração indica que praticamente todo o ácido contido na solução **C** foi neutralizado pelo hidróxido proveniente da solução **B**. Anotar o volume de solução **B** consumido na titulação. Repetir a operação mais uma vez e calcular o volume médio de titulante consumido na reação.

Questões sobre o experimento:

- 1) No experimento 2, quanto foi necessário do volume da base (**B**) para a neutralização do ácido (**C**)?
- 2) Por que você acha que foi necessário este volume para neutralizar a quantidade inicial de ácido?
- 3) Se o volume do ácido fosse dobrado, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Explique o valor indicado.
- 4) Se a concentração da base fosse dobrada, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Como justifica esse valor?
- 5) Usando os cartões coloridos fornecidos, represente a reação entre **C** e **B** na neutralização.
- 6) Indique algum ácido e base que poderia ser usado como exemplo nesse experimento. Forneça a reação entre eles.

APÊNDICE C – Situação 2: Determinação da conservação das massas em uma reação

Pergunta Inicial: O que se pode esperar em relação às massas das substâncias envolvidas em uma reação? Explique.

Experimento 1: Experimento entre bicarbonato de sódio e ácido acético (Adaptado do livro “Ser protagonista”, Ensino Médio, 1º Ano. 2ª Ed. São Paulo: Edições SM Ltda., 2013, p.75)

Material: Bêquer de 250 mL; Proveta de 100 mL; Balança; Vinagre (solução aquosa de ácido acético 5%); Bicarbonato de sódio.

Procedimento:

Coloque o bêquer na balança e determine sua massa. Acrescente ao bêquer a quantidade de bicarbonato de sódio que será utilizada por seu grupo. Registre no quadro abaixo a massa dessa amostra. Cada grupo deverá usar uma determinada massa dessa substância, que será indicada pelo professor, e que poderá ser de 2,0g; 3,0g; 4,0g ou 5,0g. Transfira 100,0mL do vinagre para a proveta. Determine a massa do sistema inicial (conjunto do bêquer contendo bicarbonato de sódio e da proveta contendo vinagre). Registre o valor obtido no quadro abaixo. Adicione, lentamente, o vinagre ao conteúdo do bêquer. Registre suas observações. Aguarde o término da reação e determine novamente a massa do sistema final (conteúdo do bêquer com a mistura reacional e proveta). Compartilhe os valores obtidos com os outros grupos, de forma que todos tenham um quadro totalmente preenchido.

Observações	Varição de massa no sistema (g)	Massa do sistema final (g)	Massa do sistema inicial (g)	Massa bicarbonato de sódio (g)	Grupos
				2,0	1
				3,0	2
				4,0	3
				5,0	4

Questões sobre o experimento:

1) Nesse processo, ocorreu alguma transformação? O que foi observado para que você chegasse a esta conclusão?

2) Nesse processo o que ocorreu com a massa do sistema? Como se pode justificar essa

ocorrência?

3) Em qualquer outro processo ocorreria o mesmo com a massa do sistema? Se achar que não dê exemplos contrários.

4) Na reação entre o bicarbonato de sódio e o ácido acético em solução aquosa, ocorre a formação de dióxido de carbono, água e acetato de sódio (substância solúvel em água).

- a) Esquematize a reação que representa o processo. A partir do esquema explique o que ocorreu com a massa do sistema.
- b) Usando os cartões fornecidos, represente a reação envolvida. Use o sulfite para isso.

5) Nessa reação, para cada 84 g de bicarbonato de sódio ocorre a liberação de 44g de dióxido de carbono.

- a) Que tipo de relação existe entre essas quantidades de reagentes e produtos?
- b) Se a massa de bicarbonato usada fosse diferente a massa de dióxido de carbono desprendida seria de 44g?
- c) Dê a razão entre a massa de bicarbonato de sódio e a de dióxido de carbono.
- d) Considere a massa de bicarbonato medida no seu experimento para determinar a massa de dióxido de carbono resultante na reação. Faça o mesmo para os demais experimentos.
- e) Os valores encontrados no item anterior coincidem com as perdas de massas observadas nos quatro experimentos? Discuta.

6) Existe uma possibilidade da massa se conservar nesse experimento? Proponha uma forma se achar que sim.

APÊNDICE D – Situação 3: Determinação de fórmulas por meio dos padrões de massas

Pergunta Inicial: Como é possível determinar a proporção de elementos em uma substância, como, por exemplo, na molécula de H_2O ?

Experimento 1: Determinação da fórmula de hidrato

Materiais: Espátula Sulfato de Cobre Hidratado; Balança analítica; Cadinho; Tela de amianto; Tripé; Bico de Bunsen; Pinça Metálica.

Procedimento:

Aquecer o cadinho durante cinco minutos e colocar para esfriar. Após esse processo, determinar a massa do cadinho vazio. Colocar no cadinho cerca de 3,0g de sulfato de cobre hidratado. Anotar a massa. Colocar o sulfato de cobre hidratado para aquecer até que o sal fique totalmente esbranquiçado. Deixar esfriar e determinar a massa novamente.

Questões sobre o experimento:

- 1) Como é possível determinar a quantidade em matéria do sal e da água no sal hidratado?
- 2) A utilização de dados experimentais é suficiente para determinar a fórmula de uma substância? Qual a sua justificativa para isso?
- 3) Determinar a proporção percentual, em relação às massas, do sal e da água no sal hidratado. Explique, por favor, como os cálculos foram realizados por você.
- 4) A proporção determinada anteriormente (item 2) seria diferente se no experimento fossem usadas massas diferentes de sal hidratado? Como se pode justificar isso?
- 5) Para que servem os padrões? Qual a importância em se adotar padrões na Química?
- 6) Você se lembra de algum padrão usado na Química? Se sim, por favor, comente.

Experimento 2: Determinação da massa de grãos (Adaptado do livro “Ser protagonista”, Ensino Médio, 1º Ano. 2ª Ed. São Paulo: Edições SM Ltda., 2013, p.253)

Materiais: Balança de pratos; feijão; lentilha; milho; arroz.

Procedimento:

Determinar a massa de 10 grãos de feijão em uma balança (use um recipiente para isso). Após a determinação da massa, em outro recipiente, depositar as lentilhas, uma a uma, de modo que se obtenha a mesma massa. Anote no quadro abaixo a quantidade de lentilhas usadas para se obter a mesma massa. Repetir o procedimento substituindo a lentilha por grãos de milho e depois, por grãos de arroz.

Questões sobre o experimento:

1) Indique a proporção existente entre:

- a) a massa de um grão de feijão e a de um grão de lentilha.
- b) entre a massa de um grão de feijão e a de um grão de milho.
- c) entre a massa de um grão de feijão e a de um grão de arroz.

2) É possível saber a relação de massa existente entre um grão de lentilha e um grão de milho? E um grão de milho e um grão de arroz?

3) Admitindo que a massa de um grão de feijão equivale a 10 u. i. (unidade inventada), calcule a massa de um grão de lentilha, de um grão de milho e de um grão de arroz utilizando a mesma unidade.

4) Admitindo que a massa média de um grão de feijão seja 0,3g e que um pacote desses grãos possui 1kg (1000g), quantas unidades de feijão, aproximadamente possui o pacote?

5) É possível, na prática, determinar a massa de um grão de açúcar em u.i.? Como?

6) Qual o papel dos feijões nessa atividade?

7) Como é possível determinar a proporção de elementos em uma substância, usando a massa como parâmetro?

APÊNDICE E – Situação 4: O uso dos símbolos químicos e os padrões de massa

Pergunta Inicial: Qual a necessidade em se utilizar símbolos na Química? E qual a importância em se utilizar símbolos em reações?

TRANSFORMAÇÃO DAS IDEIAS

(Adaptado do livro “Interações e Transformações I: Elaborando Conceitos sobre Transformações Químicas”, 2ª Ed. São Paulo: EDUSP, 2012, p.109-113)

No final do século XVIII, muito conhecimento acerca das transformações químicas já havia sido adquirido. Assim, por exemplo, já se sabia que, de uma certa quantidade de matéria-prima, não se podia fabricar quantidades arbitrárias de um produto. De fato, uma das condições para se obter, economicamente, um produto é fazer reagir quantidades determinadas de cada um dos reagentes. Também se sabia que a massa se conserva nas reações químicas.

Além desses conhecimentos, o fato de algumas substâncias se decomporem, e outras não, também despertou muito interesse entre os pensadores da época e muitas tentativas de explicação foram propostas.

Compreender o comportamento da matéria, através da elaboração de ideias sobre a sua constituição, tem sido preocupação constante desde os pensadores mais antigos até os cientistas atuais. Essas ideias estão em contínua transformação, pois, conforme mais informações são obtidas, mais as ideias se mostram limitadas para explicar os novos dados.

Assim, através da ideia de que a matéria é constituída por elementos ou princípios, é possível explicar a conservação de massa nas transformações químicas, admitindo que os elementos se conservam.

É possível explicar, também, a proporcionalidade entre massas de reagentes e produtos, admitindo-se que as substâncias tenham determinada composição em elementos. No entanto, essa ideia não explica como os elementos se conservam ou como eles se combinam em determinadas proporções.

O trabalho de John Dalton (1766 – 1844) pode dar uma resposta a essas indagações.

Dalton trabalhava na Escola de Ciências de Manchester, Inglaterra, tendo como interesses assuntos relacionados à meteorologia. São temas constantes nos trabalhos de Dalton a solubilidade dos gases da atmosfera na água, a expansão do vapor por ação do calor, a água contida como vapor na atmosfera.

Dalton estudou também o comportamento dos gases quando eram misturados sem que sofressem transformações químicas.

Esses estudos foram muito importantes no desenvolvimento das ideias sobre a constituição da matéria. Para explicar suas observações sobre os gases, Dalton adotou as ideias do físico e matemático inglês Isaac Newton (1642 – 1727) sobre o ar (propostas no século XVIII). Newton admitia que o ar era constituído por pequenas partículas ou átomos de matéria, que se repeliam mutuamente com uma força que aumentava à medida que diminuía a distância entre elas. Em suma, constituído por partículas em movimento.

Os dados obtidos por Dalton em seus experimentos foram levando-o a mudar suas ideias a respeito das partículas ou átomos de matéria.

No início, Dalton acreditava que as partículas – blocos físicos fundamentais, constituintes de qualquer substância – seriam as mesmas. Com o decorrer de seu trabalho, foi chegando à conclusão de que os átomos dos diferentes gases deveriam ser diferentes e lhe ocorreu que a massa poderia ser a propriedade que diferenciaria os átomos. Com isso explicaria, por exemplo, as diferenças de solubilidade dos vários gases estudados.

Assim, a concepção de Dalton sobre a constituição da matéria é diferente da concepção proposta por Lavoisier. Este admitia a matéria constituída por elementos. Dalton a considerava constituída por átomos de massas diferentes. No entanto, essas concepções podem ser relacionadas admitindo que cada elemento constituinte da matéria seja formado por átomos de mesma massa.

Como seria possível, então, avaliar a massa de um átomo?

Analisando os dados sobre as quantidades de reagentes e produtos envolvidas em transformações químicas, Dalton pôde avaliar a massa do átomo de um elemento comparando massas envolvidas em transformações nas quais um dos reagentes fosse o mesmo.

Assim, a partir de dados sobre as massas envolvidas nas transformações entre diferentes substâncias e gás hidrogênio, Dalton pôde construir uma tabela de massas atômicas de diferentes elementos em relação ao hidrogênio.


O hidrogênio, escolhido como padrão, teve sua massa atômica fixada arbitrariamente como 1. Assim, dizer que a massa atômica do oxigênio é 7, segundo Dalton, significa que um átomo de oxigênio tem massa 7 vezes maior que a de um átomo de hidrogênio.



Dessa forma, as leis das combinações químicas poderiam vir a ser explicadas, aliando-se a esses dados as ideias que Dalton propôs para a constituição da matéria:

- Toda a matéria é formada por átomos. Estes são as menores partículas que a constituem, e são indivisíveis e indestrutíveis, mesmo durante transformações químicas.
- Os átomos que constituem os diversos elementos químicos são diferentes entre si em massa e se portam diferentemente em transformações químicas.
- Os átomos de um mesmo elemento químico são idênticos em massa e se portam igualmente em transformações químicas.
- Nas transformações químicas, átomos de diferentes elementos combinam-se em números inteiros.

Admitindo-se, assim, a transformação química como um rearranjo de átomos e atribuindo-se a estes massas fixas, pode-se explicar a conservação de massa e as proporções definidas entre as quantidades de reagentes.

Dalton representava suas ideias sobre os átomos utilizando símbolos. Na sua representação o símbolo de um elemento indicava não só esse elemento, mas, também, um átomo desse elemento, com massa característica, ou alguma massa padrão contendo um certo número de átomos. As fórmulas e as representações das transformações químicas (equações químicas) significavam também quantidades.

Assim, o símbolo  representava o elemento hidrogênio ou um átomo do elemento hidrogênio, com massa característica; no caso, massa atômica relativa 1. Expressando em grama este valor, tinha-se a massa de um certo número de átomos de hidrogênio.

Símbolo	Nome	Massa Atômica	Nome Atual
	Hydrogen	1	Hidrogênio
	Azote	5	Nitrogênio













	Carbon	5	Carbono
	Oxygen	7	Oxigênio
	Phosphorus	9	Fosforo
	Sulphur	13	Enxofre
	Iron	50	Ferro
	Zinc	56	Zinco
	Lead	90	Chumbo
	Silver	100	Prata
	Gold	190	Ouro
	Platina	190	Platina
	Mercury	157	Mercúrio
	Copper	56	Cobre

Tabela de Dalton com os símbolos e massa atômica relativa

Dalton representava suas ideias sobre os átomos utilizando símbolos (Tabela). Na sua representação o símbolo de um elemento indicava não só esse elemento, mas, também, um átomo desse elemento, com massa característica, ou alguma massa padrão contendo um certo número de átomos. As fórmulas e as representações químicas (equações químicas) significavam também quantidades.

Questões sobre o texto (Adaptado do livro “Interações e Transformações I: Elaborando Conceitos sobre Transformações Químicas”, 2ª Ed. São Paulo: EDUSP, 2012, p.118) :

1) Admitindo que as partículas que constituem o ácido clorídrico sejam formadas pela união de um átomo de hidrogênio com um átomo de cloro, podendo, assim, ser representadas por HCl, e sabendo que um 1,0g de gás hidrogênio interage com 35,5g de gás cloro para formar 36,5g de ácido clorídrico, qual a massa atômica de cloro em relação ao hidrogênio? Explique seu raciocínio.

2) Baseado na tabela de Dalton, em que é tomado o hidrogênio como padrão de massa, quantas vezes a massa do átomo de ferro é maior que a massa do átomo de enxofre? Como chegou a esta conclusão?

3) Considerando as massas relativas de Dalton, suponha que por meio de uma análise experimental, um composto é formado por 26,3% de azoto e 73,7% de oxigênio. Represente a fórmula desse composto e explique a lógica adotada para determinação da fórmula.

4) Considerando o composto acima formado (exercício 3), represente 3 partículas do mesmo utilizando a simbologia de Dalton.

5) Represente também usando a simbologia de Dalton,

a. 1 partícula com 4 átomos de fósforo;

b. 2 partículas formadas por 2 átomos de hidrogênio e 2 átomos de oxigênio.

6) Outro elemento adotado como padrão de massa foi o oxigênio, em 1865, por Jean Stas, isso pelo fato de que o oxigênio reage facilmente com a maior parte dos elementos químicos. Usando os feltros coloridos, represente as reações abaixo em que o oxigênio é um dos reagentes. Explique o raciocínio usado em cada construção.

a. Combinação do gás oxigênio (O_2) com enxofre (S) para formar o trióxido de Enxofre (SO_3)

b. Combinação do gás oxigênio (O_2) com ferro (Fe) para formar o óxido de ferro III (Fe_2O_3)

c. Combinação do produto do item **a** com o produto do item **b**

d. Combinação do gás oxigênio (O_2) com metano (CH_4) para formar o dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O)

APÊNDICE F – Situação 5: A constante de Avogadro e a unidade mol

Pergunta Inicial: “Quanto tempo levariam os habitantes da Terra para contar as moléculas de 1cm^3 de gás, que estão nas condições normais de temperatura e pressão, admitindo que cada habitante conte duas moléculas por segundo? (CHASSOT, 1990, p.41)”

Experimento 1: Determinação da constante de Avogadro (Retirado do livro “Entre sólidos e líquidos - uma visão contemporânea e multidisciplinar - para a formação de professores e divulgação do conhecimento”, 2014, p. 29-37).

Materiais: Solução de azeite de oliva, diluída 200 vezes em álcool; seringa de 1 mL, graduada em 0,1 e com uma agulha na sua extremidade; conta gotas; bacia plástica com aproximadamente 30 cm de diâmetro; pó de giz colorido; peneira; copo descartável; régua de 30cm.

Procedimento:

Primeiramente, preencha a seringa com 1 mL da solução de azeite. Transfira todo este volume para o conta-gotas, posicionando-os de forma horizontal para não haver perdas de matéria. Gotejar a solução de azeite em copo descartável, determinando o número de gotas em 1mL. Adicionar água dentro da bacia plástica até obter uma coluna d’água de 3,5cm de altura, medida com o auxílio da régua. Após ralar o giz colorido, para transformá-lo em pó, tomando o cuidado de espalhá-lo por toda a superfície d’água e sem excesso, pingar com o auxílio do conta-gotas uma gota da solução de azeite de uma altura de 40 cm da borda da bacia. Com o auxílio da régua plástica, determinar o diâmetro do círculo formado pela solução em contato com a água. Lavar a bacia e repetir todo o procedimento por mais uma vez.

Questões sobre o experimento:

1) A partir dos dados experimentais, determine a constante de Avogadro.

Dados: Massa Molar do Ácido Oléico = 252,52 g/mol; Densidade do Ácido Oléico = 0,895 g/cm³.

Fórmulas:

$$2r = d$$

$$A = \pi r^2$$

$$h = \frac{v}{A}$$

$$v = \pi \left(\frac{h}{36}\right)^2 h$$

$$m = dV$$

2) Conhecendo o volume de uma molécula de ácido oléico e o volume da circunferência da gota, medida experimentalmente, estabeleça comparações entre essas duas medidas.

3) Conhecendo o volume de uma molécula de ácido oléico e a constante de Avogadro aproximado, medido experimentalmente, estabeleça comparações entre essas duas medidas.

Experimento 2: Determinação da quantidade de grãos em uma caixa de fósforo

Materiais: Feijão e caixa

Procedimento:

Colocar e contar o número de grãos de feijão que cabem em uma caixa de fósforos.

Questões sobre o experimento:

- 1) Quantos feijões couberam na caixa?
- 2) Quantas dessas caixas seriam necessárias para armazenar 10.000.000 (dez milhões) de grãos de feijão?
- 3) Considerando o volume da caixa, em relação ao número de grãos, e o volume do laboratório, quantos feijões caberiam no local?
- 4) Considerando o cálculo acima, quantas salas de aula seriam necessárias para armazenar 1×10^{23} grãos de feijão?
- 5) Para se ter ideia da magnitude de átomos, podemos fazer uma comparação relativamente simples entre um fio de cabelo que tem uma espessura média de 7×10^{-5} m, enquanto que os raios atômicos medem alguns angstroms (10^{-10} m). Dessa forma, para imaginarmos o tamanho de um átomo, precisamos dividir a espessura de um fio de cabelo em 100 mil partes iguais.
 - a) Considerando essas dimensões você imagina que em uma gota de água existe uma pequena quantidade de moléculas ou uma grande quantidade de moléculas de água? Como você justifica sua resposta?
- 6) Supondo que você conte uma molécula por segundo, calcule (Adaptado do Livro “Química, volume único: ensino médio”, 1ª Ed. São Paulo: Editora Scipione, 2005, p. 159):
 - a) Quantas moléculas você contaria em uma hora?
 - b) Quantas moléculas você contaria em um dia?
 - c) Quantas moléculas você contaria em um ano?
 - d) Quantos anos você demoraria para contar $6,02 \times 10^{23}$ moléculas existentes em 18,0g de água?
 - e) Você considera que o número encontrado no exercício anterior é mensurável? Por quê?
 - f) Que sugestão você daria para transformar um número tão grande e que representa entidades tão pequenas, em algo que possa ser facilmente medido?

5ª Situação – Parte B

7) Considere a definição da IUPAC para mol:

“O mol é a unidade do Sistema Internacional para quantidade de substância, seu símbolo é mol. Considera-se que, em um mol, tem-se a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos contidos em 0,012 quilograma de carbono 12”.

Assim, analise as afirmações abaixo, julgue cada uma delas como verdadeira, ou falsa, apresentando a justificativa para a escolha.

- a) 1 átomo de carbono 12, tem massa equivalente a 12 g.
- b) Se em uma reação tem-se como produto um mol de gás carbônico (CO_2), podemos

afirmar que uma molécula desse gás foi formada.

- c) O mol é a constante de Avogadro em átomos, moléculas, íons, etc.
- d) O mol é a massa molar em gramas.
- e) O mol é a unidade de quantidade de substância.
- f) Mol é a massa (em gramas) numericamente igual a massa molecular relativa de uma substância.

APÊNDICE G – Situação 6: A estequiometria

Experimento 1: Determinação da acidez do vinho branco

Materiais: Pipeta de 10mL; bureta de 25,00mL; erlenmeyer de 250mL; solução de NaOH 0,10mol/L, béquer, indicador fenolfetaleína, vinho branco.

Procedimento:

Pipete 20mL de vinho branco e transfira para o erlenmeyer. Acrescente à esta solução aproximadamente 50mL de água e 3 gotas do indicador fenolfetaleína. Lave um pouco a bureta com pequenas porções da solução-padrão básica. Complete a bureta com a solução básica. Gotejar lentamente a solução de base sobre a solução de vinho branco, até observar a "viragem" do indicador. Anotar o volume de solução básica consumida na titulação. Repetir a operação mais uma vez e calcular o volume médio de titulante consumido na reação.

Questões sobre o experimento:

- 1) Considerando o ácido tartárico ($\text{HOOCCH(OH)CH(OH)COOH}$), que é um dos componentes do vinho branco, e o hidróxido de sódio (NaOH), explique qual a proporção em quantidade de matéria, existente entre essas duas substâncias em uma reação entre eles.
- 2) Você considera que a proporção seria a mesma se considerássemos suas massas ao invés da quantidade de matéria. Por quê?
- 3) Explique como é possível determinar a massa de ácido tartárico contido na amostra de vinho (20mL).
- 4) Se após a reação (neutralização) ser concluída, e se fosse possível evaporar toda a água presente na solução, sem perdas por decomposição do sal, explique como seria possível determinar a massa resultante.
- 5) Supondo que a massa do exercício 4 tenha sido determinada, como seria possível encontrar a quantidade dos íons que compõem o sal presentes na solução antes da evaporação?

APÊNDICE H – Categorização das repostas quanto à conservação da matéria

CONSERVAÇÃO EM MUDANÇAS DE ESTADO FÍSICO				
	Exemplos de repostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos
<p>AP – 01 (c) Considere que em um sistema fechado, de capacidade 1L, tenhamos 5g de H₂O_(l). Se esta substância vaporizar-se, qual a massa final de H₂O? JUSTIFIQUE.</p>	<p>“A massa final de H₂O(g) é 5g. Pois é a <u>mesma substância em um recipiente fechado</u>” (1C)</p> <p>“A massa continua a mesma pois o sistema é fechado e ao passar do estado líquido para o estado gasoso as moléculas mudam apenas o seu grau de ordenação (que no caso diminui), porém a massa (ou número de moléculas) é constante” (2C)</p>	<p>- é a mesma substância em um recipiente fechado</p> <p>- pois o sistema é fechado</p>	<p>A massa se mantém, pois o sistema está fechado</p>	<p>1A, 1B, 1C, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 3B, 4C, 4E, 5B</p>
	<p>“<u>Não houve perda ou adição de matéria, apenas o arranjo espacial das moléculas</u>” (3D)</p> <p>“A massa final de H₂O será a mesma que a inicial, pois o sistema é fechado, <u>não há troca de matéria apenas de energia, logo, ao vaporizar, teremos uma mudança de estado físico mas não de massa</u>” (5B)</p>	<p>- Não houve perda ou adição de matéria</p> <p>- não há troca de matéria apenas de energia</p>	<p>A massa se mantém, pois não há troca de matéria</p>	<p>1A, 2B, 2H, 3B, 3D, 4A, 4C, 5B</p>
	<p>“Como o sistema fechado não há nem perda ou ganho de matéria para o meio externo a única coisa que acontecerá é que ao invés de ter <u>5g de H₂O (l), teremos 5g de H₂O (g)</u>” (1A)</p> <p>“A massa final será a mesma (5g), pois <u>mantem-se a proporção do reagente para o produto</u>” (4D)</p>	<p>- 5g de H₂O (l), teremos 5g de H₂O (g)</p> <p>- mantem-se a proporção do reagente para o produto</p>	<p>A massa se mantém, pois existe a mesma relação entre reagentes e produtos</p>	<p>1A, 1D, 2C, 2F, 4D, 5A, 5C, 5D</p>
	<p>“Na minha opinião, como se trata de um sistema fechado, <u>a água mudará de estado físico, mas não mudará sua massa</u>”(1B).</p> <p>“A massa final da água apresentará a mesma massa, pois se encontra em sistema fechado, <u>assim se ela vaporizar-se permanecerá no sistema</u>” (2A)</p>	<p>- se ela vaporizar-se</p> <p>- a água mudará de estado físico</p>	<p>A massa se mantém, pois, houve somente mudança de estado físico</p>	<p>1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2D, 2F, 3D, 4A, 4C, 5A, 5B, 5C, 5D</p>

	<i>“Se ela vaporizar <u>não sobrar nada</u>” (2E)</i>	<i>- não sobrar nada</i>	A massa será diferente, pois não sobrar nada	2E
	<i>“A massa final de H₂O será diferente do começo, pois a <u>densidade do líquido e do vapor serão diferentes</u>” (3C)</i>	<i>- pois a densidade do líquido e do vapor serão diferentes</i>	A massa será diferente, pois as propriedades dos reagentes e produtos são diferentes	3C
	<i>(Determina a quantidade de matéria em 5 g de água)</i>		Indeterminado	3A
			Não expressou	2G, 4B
AS RELAÇÕES DE CONSERVAÇÃO ENTRE MASSAS DE REAGENTES E PRODUTOS				
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos
AP – 02 (d) Qual a massa total de CO ₂ mais H ₂ O após a reação se completar? Como você chegou a esta conclusão?	<i>“142g de <u>CO₂ + H₂O</u> após a queima” (1A)</i> <i>(Calcula a massa molar de CO₂ e H₂O. Multiplica por seus coeficientes estequiométricos). “A massa total de CO₂ mais H₂O será de 142g. Utilizando o valor de massa molar do composto respeitando a estequiometria” (2D)</i>	<i>- CO₂ + H₂O</i> <i>- Massa total de CO₂ + H₂O = 142g/mol</i>	Existe a conservação devido à correspondência entre as massas e/ ou quantidade de matéria dos produtos	1A, 2D, 2F, 2H, 4B
	<i>“A massa de <u>CO₂ + H₂O</u> será igual a massa de etanol + <u>oxigênio</u>, pois a quantidade que está de um lado da reação tem que ser igual a outra” (2A)</i> <i>“142g pois a soma da massa de reagentes é igual a massa total dos produtos. Na dúvida, fiz o cálculo de massa molar dos reagentes com a equação balanceada e resultou também em 142g”(4C)</i>	<i>- CO₂ + H₂O será igual a massa de etanol + oxigênio</i> <i>-142g pois a soma da massa de reagentes é igual a massa total dos produtos</i>	Existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos	2A, 2C, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B
	<i>“Pela relação estequiométrica, 1 mol de etanol está para 2 mol de CO₂ e 3 mol de H₂O, logo, calcula-se a massa para um mol de etanol, no caso 46,0g e a massa para dois e três mols de CO₂ e H₂O respectivamente,</i>	<i>- 1 mol de etanol está para 2 mol de CO₂ e 3 mol de H₂O, logo, calcula-</i>	Existe a conservação devido à correspondência entre as massas e	1D, 2C, 3D, 4C, 5A, 5B

	<p>visto que foram usados 1 mol de etanol” (1D)</p> <p><u>(Escreve 2 mol de CO₂ (88g), e que tem 3 mol de H₂O (54g). Depois com a equação balanceada e coloca as massas molares de todos os componentes e soma as massas experimentais de todos os componentes). “As massas adicionadas são equivalentes a estequiometria da reação. Então basta apenas multiplicar a massa molar do composto pelo seu coeficiente estequiométrico” (3D)</u></p>	<p>se a massa</p> <p>- As massas adicionadas são equivalentes a estequiometria da reação</p>	<p>quantidade de matéria dos reagentes e produtos</p>	
	<p><u>(Realiza cálculos de quantidade de matéria e massa molar dos produtos). “Massa total = 96 + 54 = 150g/mol. Cheguei nesta conclusão a partir dos números de massa” (1I)</u></p> <p><u>(Acha a massa molar de CO₂ de H₂O e os multiplica por seus coeficientes estequiométricos, depois soma as massas dos dois). “A massa total de CO₂ de H₂O é igual a 122g. Cheguei a essa conclusão a partir da massa molar de cada molécula, multiplicada pelo n° de mol de cada um” (5D)</u></p>	<p>- Realiza cálculos de quantidade de matéria e massa molar dos produtos</p> <p>- Cheguei a essa conclusão a partir da massa molar de cada molécula, multiplicada pelo n° de mol de cada um</p>	<p>A massa é diferente, pois, existe a relação apenas de entre massa e/ou quantidade de matéria nos produtos</p>	<p>1I, 2B, 5C, 5D</p>
	<p><u>(Escreve a equação balanceada, calcula a massa molar de etanol e O₂. Faz a relação entre as massas de etanol e CO₂, mas só encontra a massa de CO₂). “Como a reação é 1:2 o resultado multiplicamos por 2, ou seja, 88g de CO₂” (3A)</u></p> <p><u>(Encontra a massa molar de etanol e traça relação entre quantidade de matéria. Encontra quantidade de matéria de etanol. Estabelece relação entre quantidades de matéria de etanol e de CO₂ e acha de CO₂. Depois com a massa molar do CO₂ acha massa de CO₂. Acha massa de água por uma relação entre quantidades de</u></p>	<p>- Como a reação é 1:2 o resultado multiplicamos por 2, ou seja, 88g de CO₂</p> <p>- Estabelece relação entre quantidades de matéria de etanol e de CO₂ e acha de CO₂. Depois com a massa molar do</p>	<p>Massa é diferente, pois, a relação entre as massas de reagentes e produtos, e/ou suas quantidades de matéria, não é direta</p>	<p>3A, 3C</p>

	<i>matéria, mas não soma as massas) (3C)</i>	<i>CO₂ acha massa de CO₂</i>		
	<i>“Me lembro de já ter calculado algo parecido nas aulas de química geral, mas agora não me recordo” (1B)</i> <i>(Estipula a massas dos reagentes e escreve a reação, mas não conclui) (2E)</i>		Indeterminado	1B, 2E
			Não expressou	1C, 3B
S2 – PI O que se pode esperar em relação às massas das substâncias envolvidas em uma reação? Explique.	<i>“Acredito que acontecerá a conservação da massa, caso a reação aconteça em um sistema fechado, mas caso não, parte da massa pode ser perdida” (1B)</i> <i>“A massa continua a mesma, segundo Lavoisier: “na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. Mas isso só vale para um sistema fechado, pois, em um sistema aberto, se a reação liberar gás não será possível “medir” a massa. Então, a massa total de reagentes usados na reação deve ser a mesma dos produtos gerado por ela” (2G)</i>	<i>- caso a reação aconteça em um sistema fechado</i> <i>- Mas isso só vale para um sistema fechado</i>	A conservação da massa é dependente das condições experimentais	1B, 1I, 2G, 2J, 3B, 3D
	<i>“Em uma reação considera que as massas dos reagentes seja igual as massas dos produtos, como é apresentado na teoria da conservação das massas, pois não é perdido durante uma reação” (2A)</i> <i>“Em uma reação química a massa das substâncias envolvidas deve ser conservada, ou seja, a mesma massa que temos nos produtos deve ser igual a dos reagentes, apesar de nem sempre observarmos isso por conta do estado físico dessas substâncias, como por exemplo quando estão no estado gasoso, porém a massa sempre será a mesma” (5D)</i>	<i>- Em uma reação considera que as massas dos reagentes seja igual as massas dos produtos</i> <i>- Em uma reação química a massa das substâncias envolvidas deve ser conservada</i>	Existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos	1A, 1E, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 3B, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D
	<i>“A massa de uma substância pode dizer se uma reação ocorre ou não. Como por exemplo, se uma substância x for o reagente limitante a reação só vai ocorrer até que a substância x seja toda consumida, isso também tem a</i>			Indeterminado

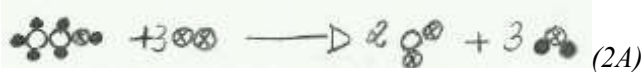

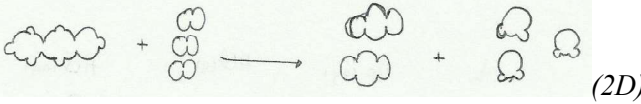
	<i>ver com a proporcionalidade da reação” (3A)</i>			
<p>S2 – 02</p> <p>Nesse processo o que ocorreu com a massa do sistema? Como se pode justificar essa ocorrência?</p>	<p>“A massa do sistema diminui. Com a formação de bolhas houve <u>liberação de gás, que não é contada na massa final do sistema</u>” (2F)</p> <p>“A massa alterou significativamente. É provável que <u>essa variação tenha ocorrido devido a desprendimento do gás em um sistema aberto</u>” (3B)</p>	<p>- liberação de gás, que não é contada na massa final do sistema</p> <p>- essa variação tenha ocorrido devido a desprendimento do gás em um sistema aberto</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos</p>	<p>1A, 1B, 1I, 2A, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 2J, 3A, 3B, 3C, 3D, 4B, 4C, 4B, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D</p>
	<p>“A massa inicial era maior que a massa final, <u>pois a massa foi diluída a um ácido!</u>” (1E)</p> <p>“Diminuiu. No início a massa do sistema era de 289,18g e após a reação a massa passou para 286,98g. <u>Assim, não ocorreu a conservação de massa. Este fato pode ser explicado pela proporção dos reagentes (2:1), e pelo produto final o qual 1 deles seria CO₂ um gás</u>” (2B)</p>	<p>- pois a massa foi diluída a um ácido</p> <p>- Assim, não ocorreu a conservação de massa. Este fato pode ser explicado pela proporção dos reagentes (2:1)</p>		
<p>S2 – 03</p> <p>Em qualquer outro processo ocorreria o mesmo com a massa do sistema? Se achar que não dê exemplos contrários.</p>	<p>“<u>Não. Por exemplo em um sistema fechado haveria a conservação da massa</u>” (2B)</p> <p>“<u>Não. Existem reações em que a massa se conserva outras em que a massa diminui e também as que aumentam como por exemplo, neste experimento a massa diminuiu devido a liberação de gás, se fechássemos o sistema com uma bexiga por exemplo poderíamos observar que o mesmo experimento a massa se conserva, e com a queima do bombril é possível observar o aumento da massa</u>” (3A)</p>	<p>- Por exemplo em um sistema fechado haveria a conservação da massa</p> <p>- se fechássemos o sistema com uma bexiga por exemplo poderíamos observar que o mesmo experimento a</p>	<p>A conservação da massa é dependente das condições experimentais</p>	<p>1A, 2B, 2C, 2E, 2F, 3A, 3B, 3D, 4D, 4E, 5A, 5C, 5D</p>

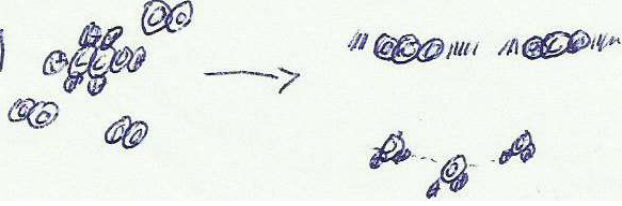



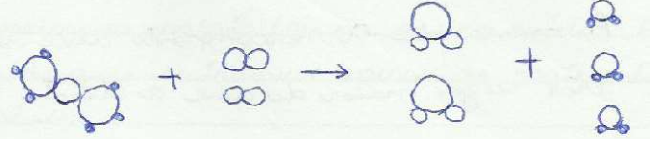
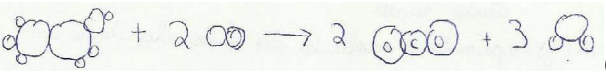
	<p><i>“Não, pois se <u>colocássemos água com bicarbonato só iria se solubilizar</u>” (1E)</i></p> <p><i>“Não, se a reação foi feita em um sistema fechado a massa do sistema permaneceria a mesma, <u>ou então a realização de uma transformação, a qual não teria como produto um gás, por exemplo:</u></i></p> <p><i><u>$AgNO_3(aq) + KI(aq) \rightarrow AgI(s) + KNO_3(aq)$</u>” (4E)</i></p>	<p><i>massa se conserva</i></p> <p><i>- colocássemos água com bicarbonato só iria se solubilizar</i></p> <p><i>- ou então a realização de uma transformação, a qual não teria como produto um gás</i></p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos</p>	<p>1A, 1B, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 3A, 3B, 3C, 3D, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D</p>
	<p><i>“Como a reação se comporta dependerá dos reagentes, os estados como estão do meio, e se há algum catalisador (pressão, temperatura)” (2H)</i></p> <p><i>“Não, porque cada produto e cada reagente possui suas propriedades químicas e físicas. Quando usamos ácido acético (CH_3COOH) em meio aquoso ocorre uma dissociação de íons devido a molécula de OH fazendo com que ocorra a formação e a liberação de gás” (2J)</i></p>		<p>Indeterminado</p>	<p>2H, 2J</p>
<p>S2 – 06</p> <p>Existe uma possibilidade da massa se conservar nesse experimento? Proponha uma forma se achar que sim.</p>	<p><i>“Sim, se <u>utilizar um sistema fechado</u>, para que o CO_2 não desprenda do sistema” (1E)</i></p> <p><i>“Sim. Se a reação fosse realizada <u>em um sistema fechado</u>, teria a conservação da massa” (5A)</i></p>	<p><i>- utilizar um sistema fechado</i></p> <p><i>- em um sistema fechado</i></p>	<p>A conservação da massa é dependente das condições experimentais</p>	<p>1A, 1B, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2J, 3A, 3D, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D</p>
	<p><i>“Sim, se a reação e o experimento forem realizados em um sistema fechado acredito que seria possível preservar a massa. <u>Pois, a massa que perdemos durante o experimento é devido a formação do dióxido de carbono.</u> Se o experimento for realizado em um sistema fechado o gás se concentraria no recipiente” (2J)</i></p> <p><i>“Sim, supondo que seja montado um sistema fechado, uma forma de realizar esse experimento seria utilizando</i></p>	<p><i>- Pois, a massa que perdemos durante o experimento é devido a formação do dióxido de carbono</i></p> <p><i>- depois verter o conteúdo da</i></p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos</p>	<p>1B, 1E, 2B, 2C, 2E, 2F, 2G, 2J, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 5C</p>

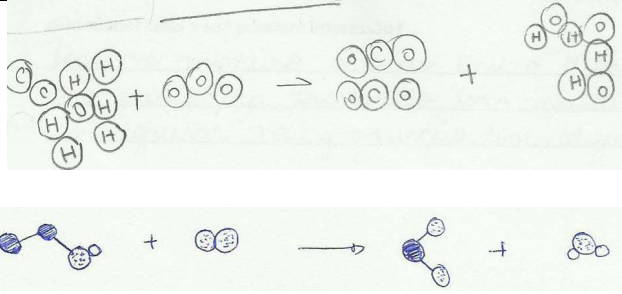
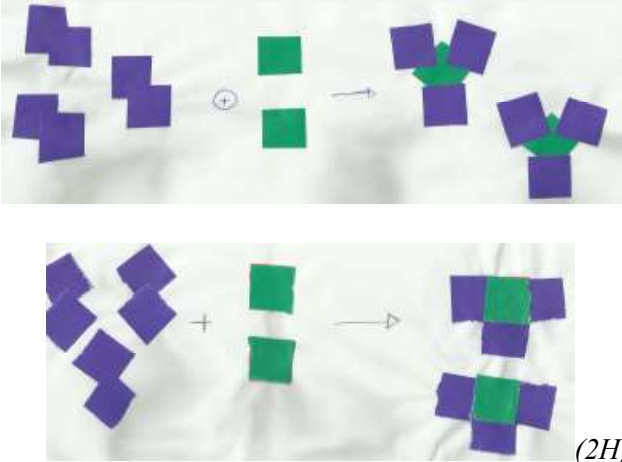
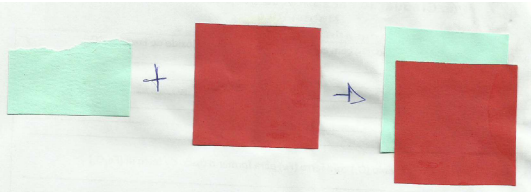
	<i>uma bexiga em um erlenmeyer adicionar a solução de acetato, pesar o bicarbonato e transferir para a bexiga. Prender a bexiga ao frasco, e pesar o sistema inicial, depois verter o conteúdo da bexiga, esperar a reação se completar e pesar o sistema final” (4D)</i>	<i>bexiga, esperar a reação se completar e pesar o sistema final</i>		
	<i>“Não, pois como teve a liberação de gás uma pequena parte foi como pequenas partículas de gás” (2H)</i> <i>“Acredito que mesmo num sistema fechado, a massa não permanecerá pois o gás ficou em constante produção e isso fará com que o limite de gás suportado pelo erlenmeyer e o líquido se exceda” (3B)</i>	<i>- Não</i> <i>- Acredito que mesmo num sistema fechado, a massa não permanecerá</i>	Massa é diferente, pois, a relação entre as massas de reagentes e produtos não é direta	2H, 3B
<p>S6 – 04</p> <p>Se após a reação (neutralização) ser concluída, e se fosse possível evaporar toda a água presente na solução, sem perdas por decomposição do sal, explique como seria possível determinar a massa resultante.</p>	<i>“A partir de uma alíquota deixa-se evaporar, e a partir disso pesa-se essa alíquota e faz a reação do que tinha no início, quanto eu tenho na alíquota e assim encontro a massa resultante entre elas” (1E)</i> <i>“Ao evaporar toda a água do produto da reação, neste caso, o sal solúvel na água ao evaporar toda a água, sobrar somente o sal e assim poderá ser determinado a massa, com a balança, ou mesmo através dos cálculos e a proporção” (2A)</i>	<i>- partir de uma alíquota deixa-se evaporar</i> <i>- assim poderá ser determinado a massa, com a balança</i>	A conservação da massa é dependente das condições experimentais	1E, 2A, 2D, 2E, 2F, 2H, 3A, 3B, 3D, 5A, 5B, 5C, 5D
	<i>“Calcular as massas dos compostos a partir da concentração e pesar o sal após a evaporação do líquido. Deve-se levar em consideração que na reação a produção de água, portanto a massa final será menor” (2D)</i> <i>“Considerando que o único componente remanescente seja o tartarato de sódio, uma simples pesagem resolveria. É possível também calcular as massas dos produtos obtidos através da análise reacional. Seria a massa inicial adicionada de ambas as substâncias, menos a massa da água evaporada” (3D)</i>	<i>- Calcular as massas dos compostos a partir da concentração</i> <i>- É possível também calcular as massas dos produtos obtidos através da análise reacional</i>	Existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos	1A, 2D, 3B, 3D, 4A, 4E
	<i>“A massa do produto pode ser calculada pela mesma relação de proporção, pois 1 mol de ácido ou hidróxido</i>	<i>- 1 mol de ácido ou hidróxido gera um</i>	Existe a conservação devido à	2C, 3C, 4D


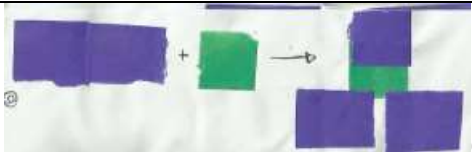

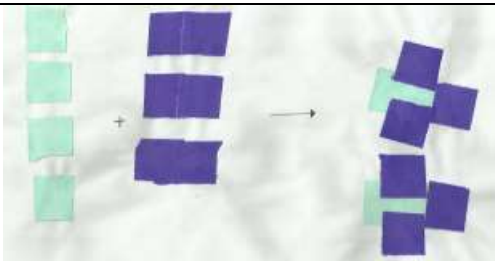
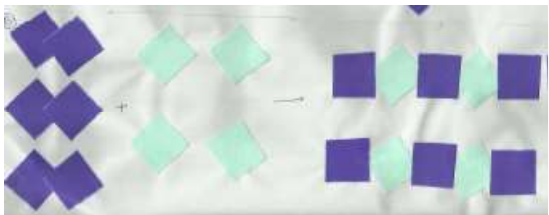
	<p><i>gera um mol do produto final e 3 mols de água” (3C)</i></p> <p><i>“Conhecendo a reação, é possível determinar o número de mols de sal que é formado, sabendo a massa molar do sal é possível por regra de três simples determinar a massa de sal produzido” (4D)</i></p>	<p><i>mol do produto final e 3 mols de água</i></p> <p><i>- é possível determinar o número de mols de sal que é formado, sabendo a massa molar do sal</i></p>	<p>correspondência entre as massas e quantidade de matéria dos reagentes e produtos</p>	
			<p>Não expressou</p>	<p>1B, 1C, 1D, 1I, 2B, 2G, 4B</p>

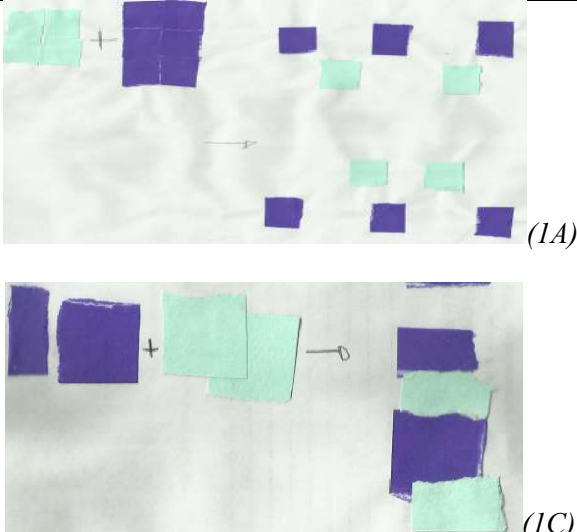
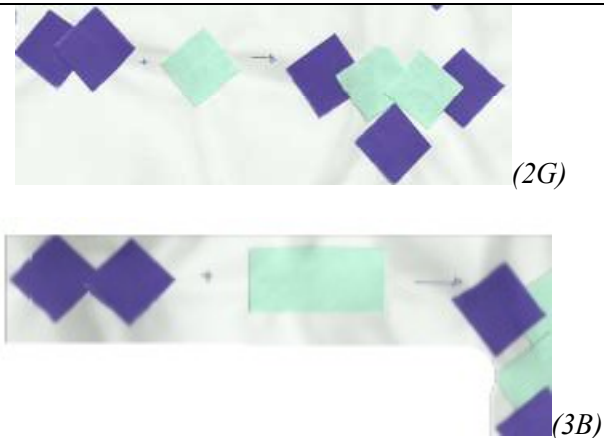
CONSERVAÇÃO POR MEIO DAS REPRESENTAÇÕES E SÍMBOLOS

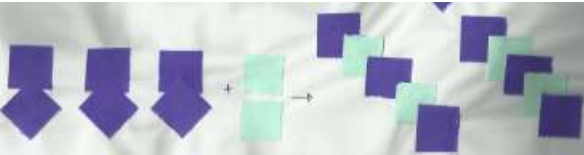

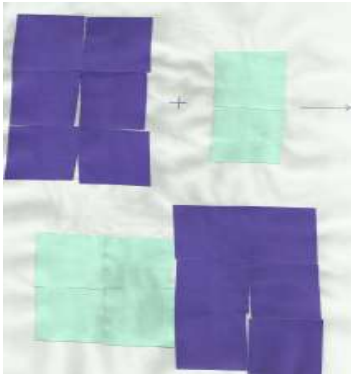
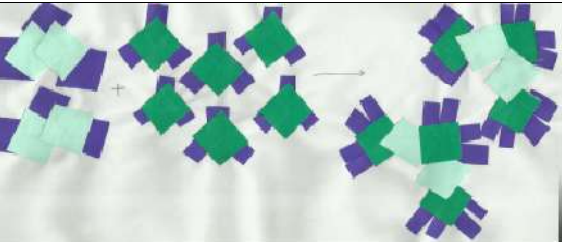
	Exemplos de respostas dos alunos	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos
<p>AP – 02 (c)</p> <p>Usando as representações das moléculas criadas acima, escreva a reação de combustão do etanol.</p>	 <p>(2A)</p>  <p>(4A)</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre reagentes e produtos e seus respectivos coeficientes proporcionais</p>	<p>2A, 3A, 4A</p>
	 <p>(2D)</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência</p>	<p>2C, 2D, 4C, 4E, 5A, 5B, 5D</p>

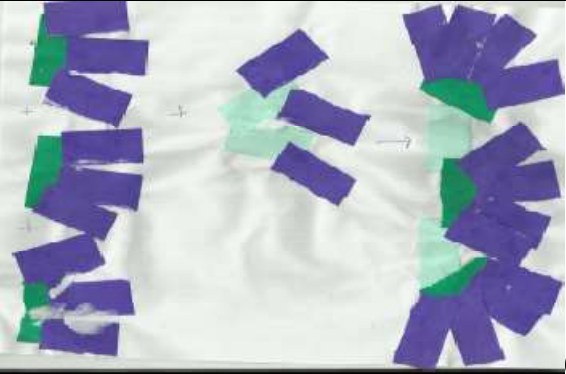

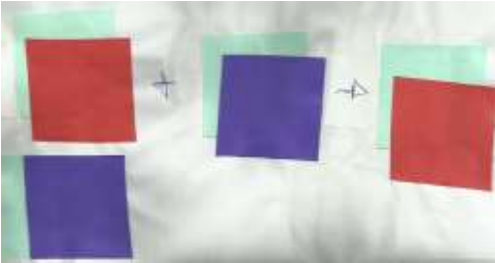
	 <p>(5B)</p>	<p>entre a quantidade de partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação</p>	
	 <p>(3C)</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	<p>3C</p>
	 <p>(1B)</p>  <p>(1D)</p>	<p>Existe uma relação entre reagente e produto, indicados pela representação, mas, sem relação proporcional direta entre os componentes</p>	<p>1B, 1D, 2H, 3D</p>
	 <p>(2F)</p>  <p>(4D)</p>	<p>Existe correspondência entre a quantidade de partículas, que não é direta, nos reagentes e produtos, indicados pela representação</p>	<p>2F, 4D</p>

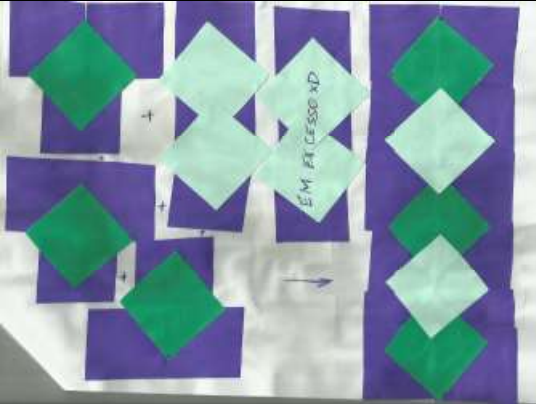
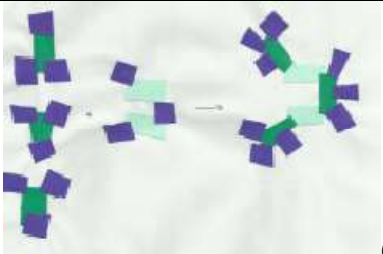
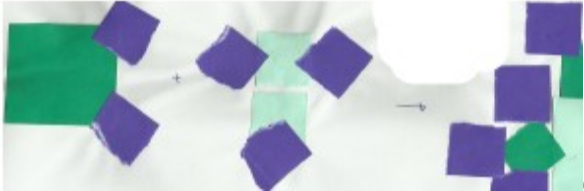
	 <p>(1I)</p> <p>(3B)</p>	<p>Existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	<p>1I, 2B, 2E, 3B, 5C</p>
<p>S4 – 06 (a)</p> <p>Combinação do gás oxigênio (O₂) com enxofre (S) para formar o trióxido de Enxofre (SO₃)</p>	 <p>(1B)</p> <p>(2H)</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre a quantidade de partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação</p>	<p>1B, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 2J, 3A, 3C, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D</p>
	 <p>(1D)</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	<p>1A, 1C, 1D, 1E, 1I, 3B, 3D, 4B</p>

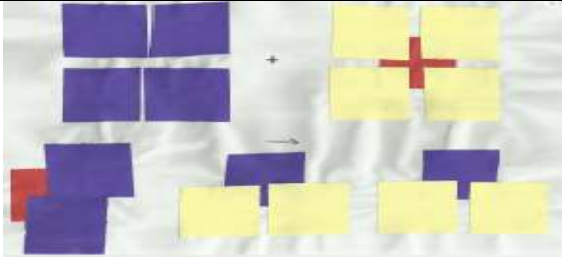
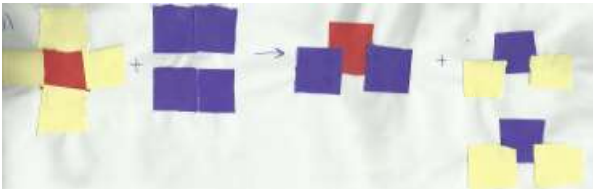
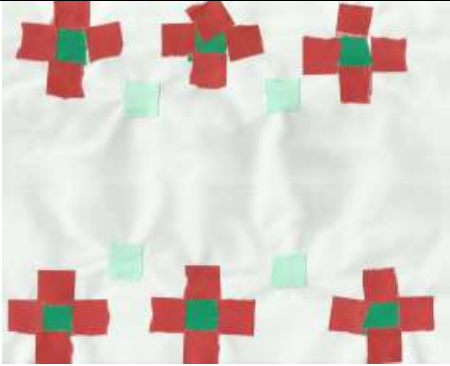
	 (3B)  (2B)  (2G)		
<p>S4 – 06 (b)</p> <p>Combinação do gás oxigênio (O₂) com ferro (Fe) para formar o óxido de ferro III (Fe₂O₃)</p>	 (2A)  (5A)	<p>Existe uma relação entre reagente e produto, indicados pela representação, mas, sem relação proporcional direta entre os componentes</p>	<p>2B, 2G</p> <p>Existe a conservação devido à correspondência entre a quantidade de partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação</p> <p>1B, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D</p>

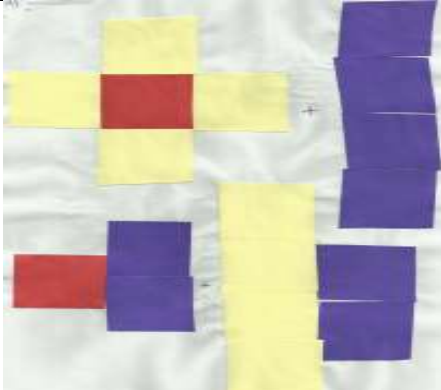
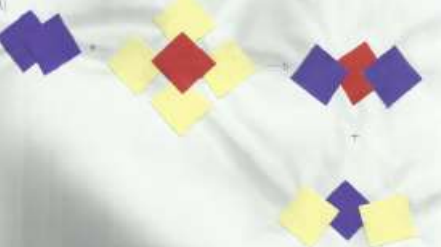
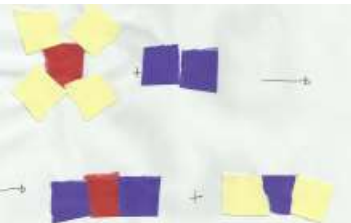
	 <p>(1A)</p> <p>(1C)</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	<p>1A, 1C , 1D, 1E, 1I</p>
	 <p>(2G)</p> <p>(3B)</p>	<p>Existe uma relação entre reagente e produto, indicados pela representação, mas, sem relação proporcional direta entre os componentes</p>	<p>2G, 3B</p>

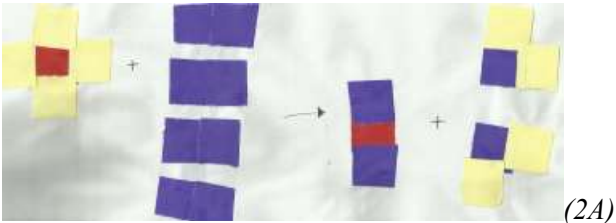
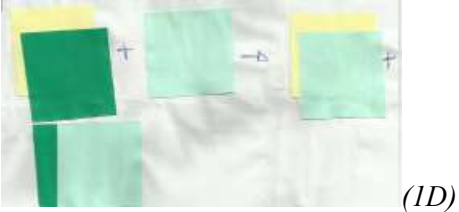
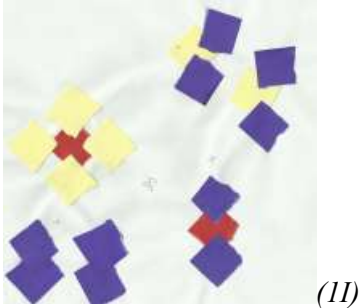
	 <p>(2J)</p>	<p>Existe correspondência entre a quantidade de partículas, que não é direta, nos reagentes e produtos, indicados pela representação</p>	<p>2J</p>
	 <p>(2B)</p>  <p>(4B)</p>	<p>Existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	<p>2B, 4B</p>
<p>S4 – 06 (c) Combinação do produto do item a com o produto do item b</p>	 <p>(3A)</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre a quantidade de partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação</p>	<p>2A, 2C, 3A, 3C, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5D</p>

	 <p>(4C)</p>		
	 <p>(1B)</p>  <p>(1D)</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	<p>1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 2B, 4B</p>

	 <p>(5B)</p>	<p>Existe correspondência entre a quantidade de partículas, que não é direta, nos reagentes e produtos, indicados pela representação</p>	<p>5B</p>
	 <p>(2D)</p>  <p>(3B)</p>	<p>Existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	<p>1I, 2D, 2G, 2H, 3B</p>
		<p>Não expressou</p>	<p>2F</p>

<p>S4 – 06 (d)</p> <p>Combinação do gás oxigênio (O_2) com metano (CH_4) para formar o dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O)</p>	 <p>(2F)</p>  <p>(4E)</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre a quantidade de partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação</p>	<p>1B, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 2J, 3C, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D</p>
	 <p>(1A)</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	<p>1A, 4B</p>

	 <p>(4B)</p>		
	 <p>(2G)</p>  <p>(3D)</p>	<p>Existe uma relação entre reagente e produto, indicados pela representação, mas, sem relação proporcional direta entre os componentes</p>	<p>2G, 3B, 3D</p>

		<p>Existe correspondência entre a quantidade de partículas, que não é direta, nos reagentes e produtos, indicados pela representação</p>	<p>2A</p>
	 	<p>Existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	<p>1C, 1D, 1E, 1I, 3A</p>
		<p>Não expressou</p>	<p>2J</p>
<p>AP – 02 (a) Escreva a equação química desta reação</p>	$C_2H_6O + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O \text{ (1A)}$ $C_2H_6O(aq) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l) \text{ (2A)}$	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre reagentes e produtos e seus respectivos coeficientes proporcionais</p>	<p>1A, 1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2D, 2G, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D</p>

	$C_2H_6O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O \text{ (1B)}$ $C_2H_6O(l) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(l) \text{ (2H)}$	Existe uma relação entre reagente e produto, indicados pelos símbolos, mas, sem relação proporcional direta entre os componentes	1B, 2H
	$C_2H_6O + O_2 \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l) \text{ (2E)}$ $C_2H_6O + 3/2O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O \text{ (3B)}$	Existe correspondência entre a quantidade de partículas, que não é direta, nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou equação	2E, 2F, 3B
	$H_3CCH_2OH + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + H_3C-CH-O \text{ (2B)}$	Existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas	2B
<p>S2 – 04 (a)</p> <p>Esquematize a reação que representa o processo. A partir do esquema explique o que ocorreu com a massa</p>	$CH_3COOH(aq) + NaHCO_3(s) \rightarrow CH_3COONa(aq) + CO_2(g) + H_2O(l) \text{ (2C)}$ $NaHCO_3 + H_3CCOOH \rightarrow NaOCH_3(aq) + H_2O(l) + CO_2(g) \text{ (4E)}$	Existe a conservação devido à correspondência entre reagentes e produtos e seus respectivos coeficientes proporcionais	1A, 2C, 2D, 2E, 2J, 3A, 3C, 3D, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D

do sistema.	$CH_3COOH + Na_2HCO_3 \leftrightarrow CO_2 + CH_3CO_2Na_2 + H_2O \text{ (1E)}$ $2CH_3COOH + 1Na_2CO_3 \rightarrow 2 CH_3COONa^+ + 1CO_2 + 1 H_2O \text{ (2A)}$	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pela representação ou símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	1E, 2A, 2B
	$H_3CCOOH + Na_2CO_3 \rightarrow H_3CCOONa^+ + CO_2 + H_2O \text{ (2H)}$	<p>Existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	2H, 3B
	<p><i>Bicarbonato de sódio + Ácido acético</i> $\rightarrow CO_2 + H_2O + \text{acetato de sódio}$ (1B)</p> <p style="text-align: center;">H₂O</p> <p><i>Bicarbonato de sódio + ácido acético</i> $\rightarrow CO_2 + H_2O + \text{acetato de sódio}$ (2F)</p>	<p>Indeterminado</p>	1B, 1I, 2F, 2G

APÊNDICE I – Categorização das repostas quanto à proporção

PROPORÇÃO EM RELAÇÕES DIRETAS (MESMA UNIDADE)				
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos
S01 – 04 Se o volume do ácido fosse dobrado, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Explique o valor indicado.	<p>“10,8 mL, pois se usarmos 5,4 mL para neutralizar 5mL de ácido, logo, <u>através da proporção que encontramos dobramos a quantidade de base</u>” (1D)</p> <p>“Como a quantidade de ácido inicial era 5,0mL e foi gasto 5,4mL de B se <u>dobra a quantidade de A será necessário 10,8mL de base. Assim eles atingem a mesma proporção</u>” (2E)</p>	<p>- através da proporção dobramos a quantidade de base</p> <p>- dobra a quantidade, atingem a mesma proporção.</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis</p>	<p>1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 2J, 3A, 3B, 4B, 5A, 5D (Total = 19)</p>
	<p>“O dobro também ou seja, 10,7mL (aproximadamente). <u>Como a proporção da reação é 1:1, independente da quantidade de ácido ou base ela vai se manter</u>” (4A)</p> <p>“Se o <u>volume de ácido fosse dobrado seria esperado que o volume de base fosse dobrado também, pois ao dobrar o volume do ácido, dobra-se os hidrogênios ácidos e o mesmo ocorre para os grupos hidróxidos</u>” (5B)</p>	<p>- Como a proporção da reação é 1:1 quantidade de ácido ou base ela vai se manter</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis</p>	<p>3C, 4A, 4E, 5B (Total = 4)</p>
	<p>“<u>É necessário a metade pois a quantidade de matéria diminui se o volume aumenta. Logo apenas a metade neutraliza quantidade de matéria da base</u>” (4C)</p> <p>“O volume da base seria o dobro também, a concentração de H^+ seria maior, assim concentração de OH^- também” (5C)</p>	<p>-É necessário a metade pois a quantidade de matéria diminui se o volume aumenta</p>	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>4C, 4D, 5C (Total = 3)</p>
	<p>“Isso <u>depende do coeficiente e da relação dos coeficientes do ácido e da base</u>” (1A)</p>	<p>- relação dos coeficientes do ácido e da base</p>	<p>Existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida</p>	<p>1A (Total = 1)</p>

<p>S01 – 03 Se o volume do ácido fosse dobrado, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Explique o valor indicado.</p>	<p>“Se o volume do ácido fosse dobrado a quantidade de base utilizada para neutralizar essa solução também deve ser dobrada, pois há uma proporção relacionada” (2A)</p> <p>“5mL de precisou aproximadamente 10mL ou dobrar, <u>10 mL de ácido irá também dobrar a quantidade de base (20mL)</u>” (2H)</p>	<p>- 10 mL de ácido irá também dobrar a quantidade de base (20mL)</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis</p>	<p>1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 3C, 2D, 2E, 2F, 2H, 2J, 4A, 4B, 5A, 5B, 5D (Total = 17)</p>
	<p>“Se o <u>volume do ácido fosse dobrado</u>, seria necessário o <u>dobro da base para neutralizar</u>, porque a quantidade de ácido presente no recipiente é maior. 1C + 2B reação inicial 2C + 4B” (3A)</p> <p>“Seria necessário 20mL da base, pois a estequiometria da <u>reação é 1:2, então se dobra o volume de ácido necessariamente dobra o volume de base</u>” (4E)</p>	<p>- volume do ácido fosse dobrado, dobro da base para neutralizar</p> <p>- reação é 1:2, então se dobra o volume de ácido necessariamente dobra o volume de base</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis</p>	<p>3A, 4E (Total = 2)</p>
	<p>“<u>4x mais que o volume do ácido, pela proporção</u>” (2G)</p> <p>“<u>Se fosse dobrado, seria necessário a metade da quantidade de B \cong 5mL</u>” (3B)</p>	<p>- 4x mais que o volume do ácido</p> <p>- Se fosse dobrado, seria necessário a metade da quantidade</p>	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>2B, 2G, 3B, 4C, 4D (Total = 5)</p>
	<p>“<u>Depende da relação proporcional entre o ácido e a base, obtido pelo balanceamento da reação entre os mesmos</u>” (1A)</p>	<p>- obtido pelo balanceamento da reação</p>	<p>Existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida</p>	<p>1A (Total = 1)</p>
	<p>“Seria necessário mais do que o dobro de base para neutralizá-lo, <u>pois a proporção de B é maior do que a de C</u>” (3C)</p>	<p>- pois a proporção de B é maior do que a</p>	<p>Indeterminado</p>	<p>3C, 5C (Total = 2)</p>

	<p>“Seria o dobro da base para neutraliza, porque <u>a proporção estará 2:1, dobrando a concentração da base ficaria 2:2</u>” (5C)</p>	<p>de C</p> <p>- a proporção estará 2:1, dobrando a concentração da base ficaria 2:2</p>		
<p>S02 – 05(a) Que tipo de relação existe entre essas quantidades de reagentes e produtos?</p>	<p>“<u>Relação entre eles. 2 para 1</u>” (1E)</p> <p>“<u>Quando há o consumo de 84g de NaHCO₃, se libera 44g. Uma relação em massa</u>” (3B)</p>	<p>- Relação entre eles. 2 para 1</p> <p>- consumo de 84g de NaHCO₃, se libera 44g</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis</p>	<p>1B, 1E, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3B, 3C, 3D, 3E</p> <p>(Total = 11)</p>
	<p>“<u>Pois o coeficiente estequiométrico e o mesmo 1 mol de bicarbonato pesa 84g, enquanto o de CO₂ pesa 44. A relação de mol é 1 para 1</u>” (1A)</p> <p>“<u>Na reação temos 1 mol de NaHCO₃ para 1 mol de dióxido de carbono, reação 1:1. Sendo assim 84g de bicarbonato para 44g de dióxido de carbono</u>” (5C)</p>	<p>- 1 mol de bicarbonato pesa 84g, enquanto o de CO₂ pesa 44</p> <p>- reação 1:1. Sendo assim 84g de bicarbonato para 44g de dióxido de carbono</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis</p>	<p>1A, 3A, 3C, 3D, 5A, 5B, 5C</p> <p>(Total = 7)</p>
	<p>“<u>Há uma liberação de 52,38% de dióxido de carbono. Mais da metade de bicarbonato de sódio.</u></p> $\frac{84 - 100}{44 - x} \quad x = 52,38” (1I)$ <p>“<u>Que uma parte do bicarbonato de sódio 84g é consumido e produzido 44g de dióxido de carbono e a outra parte do bicarbonato de sódio é produzido o sal acetato de sódio</u>” (2A)</p>	<p>- Mais da metade de bicarbonato de sódio.</p> <p>- uma parte do bicarbonato de sódio 84g é consumido</p>	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>1I, 2A</p> <p>(Total = 2)</p>
	<p>“<u>Bicarbonato de sódio + ácido acético → CO₂ + H₂O + CH₃COONa</u> 84g 44g a massa molar?” (2G)</p> <p>“<u>Proporção</u>” (5D)</p>		<p>Indeterminado</p>	<p>2G, 4B, 5D</p> <p>(Total = 3)</p>

			Não expressou	2E, 2J (Total = 2)
S02 – 05(b) Se a massa de bicarbonato usada fosse diferente a massa de dióxido de carbono desprendida seria de 44g?	<p>“Não, mas <u>a massa de gás desprendida seria proporcional à massa de bicarbonato utilizada</u>” (2D)</p> <p>“Independente da massa de bicarbonato utilizada, <u>a massa de dióxido de carbono produzida vai estar na proporção de razão 1,91</u>” (2F)</p>	<p>- a massa de gás desprendida seria proporcional à massa de bicarbonato.</p> <p>- a massa de gás desprendida seria proporcional à massa de bicarbonato</p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1A, 1E, 1I, 2A, 2C, 2D, 2E, 2F, 2H, 2J, 3A, 3B, 3C, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5D (Total = 19)
	<p>“Depende. Teoricamente se adicionado um excesso de NaHCO_3 e o equivalente a 1 mol de CH_3COOH (60g), será produzido 44g de CO_2. Porém se adicionado menos 84g de NaHCO_3, a massa de CO_2 será menor que 44g” (3D)</p> <p>“Não, <u>manteria-se a proporção de aproximadamente 50% da massa ou, em termos de mol de 1:1</u>” (5B)</p>	<p>- manteria-se a proporção de aproximadamente 50% da massa ou, em termos de mol de 1:1</p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	3D, 5B (Total = 2)
	<p>“Não. <u>Pois a proporção de 2:1 iria mudar</u>” (2B)</p> <p>“Não, porque quando <u>mudamos a massa do NaHCO_3 a proporção muda</u>, logo a massa de dióxido poderá ser maior ou menor, depende da quantidade de massa do NaHCO_3” (5C)</p>	<p>- Pois a proporção de 2:1 iria mudar</p> <p>- mudamos a massa do NaHCO_3 a proporção muda</p>	Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	2B, 2G, 5C (Total = 3)
	<p>“Não, também seria diferente” (1B)</p>		Indeterminado	1B (Total = 1)
S02 – 05(c) Dê a razão entre a massa de	<p>“A massa de bicarbonato de sódio + o dióxido de carbono <u>tem uma razão de 1,90g</u>” (2A)</p>	<p>- tem uma razão de 1,90g</p>	Existe relação proporcional, e ela	1B, 1E, 1I, 2A, 2C, 2D, 2E, 2F, 2H, 3B,

bicarbonato de sódio e a de dióxido de carbono.	$84/44 = 1,91 \cong 2$ “1 de $\text{NaHCO}_3(84\text{g})$ produz quase metade (em massa) de CO_2 ” (3D)	- $\text{NaHCO}_3(84\text{g})$ produz quase metade (em massa) de CO_2	pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D (Total = 19)
	“A relação na reação é de 1 mol para 1 mol A relação de massa de CO_2 para o bicarbonato de sódio é de 52,24% da massa” (1A) “ 84g – 100% 44g – x x = 52%” (2J)	- 1 mol para 1 mol	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1A, 2J (Total = 2)
	“A razão é de que a cada 2g de bicarbonato se produz 0,5g de CO_2 ” (4B)	- 2g de bicarbonato se produz 0,5g de CO_2	Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	4B (Total = 1)
			Não expressou	2B, 2G, 3A (Total = 3)
S02 – 05(d) Considere a massa de bicarbonato medida no seu experimento para determinar a massa de dióxido de carbono resultante na reação. Faça o mesmo para os demais experimentos.	“84g – 44g 84g – 44g 2g – x 3g – x x = 1,04g x = 1,57g” (2B) “2gx0,52= 1,04g 3gx0,52=1,56g 4gx0,52=2,08g 5gx0,52=2,6g” (5B)		Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1A, 1B, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3B, 3C, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D (Total = 17)
	“4g de bicarbonato – 100% x– 52,38% x = 2,09g de dióxido de carbono liberado” (1I) “ $\text{NaHCO}_3(s) + \text{CH}_3\text{COOH} (aq) \rightarrow \text{CO}_2(g) + \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}(l)$ Reação (1:1). Logo o mesmo n adicionado de NaHCO_3 é o n de CO_2 produzido. Pegando o n e multiplicando	- o mesmo n adicionado de NaHCO_3 é o n de CO_2	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1I, 2A, 2J, 3D, 5C (Total = 5)

	por 44g (MM do CO ₂), obtém a massa de resultante de CO ₂ ” (3D)			
			Não expressou	1E, 2E, 2G (Total = 3)
S06 – 01 Considerando o ácido tartárico (HOOCCH(OH)CH(OH)COOH), que é um dos componentes do vinho branco, e o hidróxido de sódio (NaOH), explique qual a proporção em quantidade de matéria, existente entre essas duas substâncias em uma reação entre eles.	<p>“4NaOH + 2HOOCCH(OH)CH(OH)COOH → 5H₂O + 4NaOOCCH(OH)CH(OH)COO A proporção da reação é de 4:2. Ou seja, <u>cada 4 mol de base reage com 2 de ácido</u>” (2B)</p> <p>“2NaOH + HOOCCH(OH)CH(OH)COOH → 2H₂O + NaOOCCH(OH)CH(OH)COONa A proporção é 1:2 <u>devido a quantidade de hidrogênios reativos. O seja 1 de ácido para 2 de base</u>” (4C)</p>	<p>- cada 4 mol de base reage com 2 de ácido</p> <p>- devido a quantidade de hidrogênios reativos.</p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1E, 2B, 2D, 3B, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B (Total = 11)
	<p>“Como foi adicionado <u>20 mL de vinho, considerando 20 mL do ácido, e para neutralizar foi usado cerca de 10 mL (13,1 mL e 13,4mL) então podemos dizer que a <u>proporção é de 2ácidos para 1 NaOH</u>” (1C)</u></p> <p>“C₄H₆O₆ + NaOH → C₄H₅O₆⁻Na⁺ + H₂O A proporção é 1:1, pois ao montar a reação podemos perceber que é necessário <u>um mol do ácido e um mol da base para se formar um mol do sal e um mol da água</u>” (5D)</p>	<p>- 20 mL de vinho, considerando 20 mL do ácido, proporção é de 2ácidos para 1 NaOH</p> <p>- um mol do ácido e um mol da base</p>	Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	1A, 1B, 1C, 2C, 2F, 3C, 4B, 5C, 5D (Total = 9)
	<p>“Sendo V₁ = 13,1mL e V₂ = 13,4mL de NaOH, volumes utilizados da base para a viragem, temos que a média é = 13,25mL de NaOH. 0,10 mol → 1000mL x → 13,25mL x = 0,0013molNaOH” (1D)</p> <p>“20 mL de vinho → 13,3mL de NaOH para neutralizar 20 - 100% 13,3 - x x = 66,5% o ácido constitui 66,5% do vinho branco 40g - 1 mol x - 1,33x10⁻³ x = 0,05g” (2H)</p>		Indeterminado	1D, 1I, 2A, 2E, 2H, 3A (Total = 6)
				Não expressou

				(Total = 1)
<p>S06 – 02 Você considera que a proporção seria a mesma se considerássemos suas massas ao invés da quantidade de matéria. Por quê?</p>	<p>“Não, pois a <u>massa do ácido tartárico</u> é maior que a do <u>hidróxido de sódio</u>, logo seria grande a desproporção” (3B)</p> <p>“Não, porque ao analisar as <u>massas molares</u> a quantidade de <u>ácido</u>, em massa é quase 4x maior que a da base” (4C)</p>	<p>- a massa do ácido tartárico é maior que a do hidróxido de sódio.</p> <p>- as massas de ácido, é quase 4x maior que a da base</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis</p>	<p>2E, 3B, 3D, 4C, 4D</p> <p>(Total = 5)</p>
	<p>“Não, pois a <u>quantidade de matéria e massas diferentes</u>” (1E)</p> <p>“Não, pois a <u>quantidade de massa presente em 1 mol de ácido tartárico</u> é diferente da <u>quantidade de massa do hidróxido de sódio</u>. O ácido tartárico em 1 mol possui, aproximadamente, 150g, enquanto que o NaOH em 1 mol possui 40g” (3C)</p>	<p>- quantidade de matéria e massas diferentes</p> <p>- massa presente em 1 mol de ácido tartárico é diferente da quantidade de massa do hidróxido de sódio.</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis</p>	<p>1E, 2C, 2G, 3C</p> <p>(Total = 4)</p>
	<p>“MM NaOH = 40g/mol Não. MM áctar. = 150g/mol” (1I)</p> <p>“Não seria a mesma, porque a <u>massa molar do ácido tartárico</u> é 150g/mol e a <u>massa molar de NaOH</u> é 40g/mol, logo, a massa do ácido tartárico é quase 4x maior que a do hidróxido de sódio então não seria a mesma proporção” (4E)</p>	<p>- massa molar do ácido tartárico é 150g/mol e a massa molar de NaOH é 40g/mol</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas</p>	<p>1I, 2F, 4A, 4E</p> <p>(Total = 4)</p>
	<p>“Sim, pois ao <u>transformar mol em massa a proporção se mantém</u>” (1B)</p> <p>“Sim, pois é necessário 3,75 vezes de NaOH para reagir com o ácido tartárico, ou seja, a <u>proporção de quantidade de matéria e quantidade de massa permanece a mesma</u>” (4B)</p>	<p>- transformar mol em massa a proporção se mantém</p> <p>- a proporção de</p>	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>1A, 1B, 1C, 2B, 2D, 3A, 4B, 5B, 5C, 5D</p> <p>(Total = 10)</p>

		<i>quantidade de matéria e quantidade de massa permanece a mesma</i>		
	<p><i>“Depende da quantidade de massa da base e de ácido, sendo assim a massa é proporcional, ou seja, se for colocado uma quantidade de ácido e outra de base e se dobrar a quantidade de ácido será dobrado a quantidade de base” (2A)</i></p> <p><i>“Não, pois a massa não interfere na acidez, teria mesmo que analisar os elementos envolvidos e sua concentração” (2H)</i></p>		Indeterminado	1D, 2A, 2H, 5A (Total = 4)
PROPORÇÃO EM RELAÇÕES INDIRETAS (UNIDADES DIFERENTES)				
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos
S01 – 02 Por que você acha que foi necessário este volume para neutralizar a quantidade inicial de ácido?	<p><i>“Pois 5,4 mL diz respeito a quantidade mínima, referente a 5 mL de ácido neutralizado. Ou seja <u>5,4 mL está para 5 mL de ácido</u>” (1D)</i></p> <p><i>“Analisando a quantidade de base gasta, pode-se observar que foi utilizado cerca de 5,0mL de ácido, podendo assim supor que na <u>reação eles teriam proporção 1:1</u>” (4C)</i></p>	<p><i>- 5,4 mL está para 5mL de ácido</i></p> <p><i>- reação eles teriam proporção 1:1</i></p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1B, 1D, 1I, 2C, 2D, 2H, 3A, 3B, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5D (Total = 14)
	<p><i>“E o <u>volume que foi necessário para que não houvesse mais íons dissolvidos na solução</u>” (1A)</i></p> <p><i>“A <u>quantidade de OH- tem que ser proporcional a quantidade de H+, sendo assim foi essa a quantidade de base utilizada para consumir a quantidade de ácido e neutralizando a solução</u>” (2A)</i></p>	<p><i>- volume para que não houvesse mais íons dissolvidos</i></p> <p><i>- quantidade de OH- tem que ser proporcional a quantidade de H+</i></p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1A, 2A, 2B, 5B, 5C (Total = 5)
	<i>“Pois houve a mudança da coloração no erlenmeyer. E sendo <u>o ácido e a base com a mesma concentração, eu acho que seria necessário a mesma quantidade de base, aproximada,</u></i>	<i>- o ácido e a base com a mesma</i>	Existe relação proporcional, e ela pode ser	1C, 3C (Total = 2)

	<p><i>para neutralizar” (1C)</i></p> <p><i>“Devido <u>aproporção</u> entre os reagentes e a <u>concentração</u> de cada um” (3C)</i></p>	<p><i>concentração, seria necessário a mesma quantidade</i></p>	<p>determinada com o uso de propriedades intensivas</p>	
	<p><i>“Por que quando a mudança de coloração na solução, indica-se que chegou ao ponto de neutralização o seu ponto de viragem” (1E)</i></p> <p><i>“Foi necessário este volume para neutralizar o ácido devido a proporção contida na amostra do erlenmeyer” (4B)</i></p>		<p>Indeterminado</p>	<p>1E, 2E, 2F, 2G, 2J, 4B</p> <p>(Total = 6)</p>
<p>S01 – 03 Se um outro ácido fosse usado, seria necessária a mesma quantidade da base B? Por quê?</p>	<p><i>“Não, pois poderia haver uma <u>nova proporção</u> entre este novo ácido e a base” (1B)</i></p> <p><i>“Depende. Se a <u>proporção da reação</u> entre o ácido e a base forem iguais, sim, caso contrário, não” (2D)</i></p>	<p><i>- nova proporção entre este novo ácido e a base</i></p> <p><i>- proporção da reação entre o ácido e a base</i></p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis</p>	<p>1B, 2D, 3C</p> <p>(Total = 3)</p>
	<p><i>“A quantidade base iria variar, pois <u>depende do ácido e suas características e composição</u>” (2A)</i></p> <p><i>“Depende, se esse <u>ácido liberasse a mesma quantidade de H⁺</u> contido na solução ai sim. Se não liberar, não!” (4E)</i></p>	<p><i>- depende do ácido e suas características e composição</i></p> <p><i>- ácido liberasse a mesma quantidade de H⁺</i></p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis</p>	<p>1C, 2A, 4E, 5B</p> <p>(Total = 4)</p>
	<p><i>“Vai depender do ácido que vai ser usado, porque o vai <u>influenciar mais é a concentração</u> em que se ácido se encontra, para então saber a quantidade de base necessária para neutralizar” (3A)</i></p> <p><i>“<u>Depende da concentração, e da quantidade de hidrogênios ionizáveis</u>. Se for a mesma concentração e a mesma quantidade de H, sim, será a mesma quantidade de base, porque se mantém a proporção” (5A)</i></p>	<p><i>- influenciar mais é a concentração</i></p> <p><i>- Depende da concentração, e da quantidade de hidrogênios ionizáveis</i></p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas</p>	<p>2F, 2G, 3A, 4A, 4D, 5A</p> <p>(Total = 6)</p>
	<p><i>“Depende do ácido. <u>Cada ácido reage diferente, com reações</u></i></p>	<p><i>- Cada ácido reage diferente</i></p>	<p>Existe relação proporcional,</p>	<p>1D, 1E, 1I, 2B, 2C, 2E, 2H, 3B, 4B, 5D</p>

	<p><i>mais rápidas ou mais lentas” (1I)</i></p> <p>“Não. Seria necessário uma maior quantidade de base a fim de neutralizar o ácido como por exemplo <u>fosse um ácido fraco</u>” (2B)</p>	- se fosse um ácido fraco	entre variáveis, mas é circunstancial	(Total = 10)
	<p>“Não, por que cada ácido possui as suas propriedades” (2J)</p> <p>“Não necessariamente. Depende da relação entre este ácido e a base na reação” (4C)</p>		Indeterminado	1A, 2J, 4C, 5C (Total = 4)
S01 – 02 Por que você acha que foi necessário este volume para neutralizar a quantidade inicial de ácido?	<p>“Pois este número encontrado, representa a <u>proporção da base B e o ácido</u>” (1D)</p> <p>“Analisando que foi necessário o dobro de base para ácido. Tem-se que a proporção é 1:2 na reação” (4C)</p>	- a proporção da base B e o ácido - proporção é 1:2 na reação	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1B, 1D, 1E, 1I, 2D, 2G, 3A, 4A, 4C, 4D, 4E, 5D (Total = 12)
	<p>“Por causa da reação entre os reagentes. <u>O volume está relacionado com o número de mol necessário de cada reagente</u>” (3C)</p> <p>“Como o ácido mudou, acredito que a <u>base seja monoprotica e o ácido diprotico, então a proporção entre H⁺ e OH⁻ é outra, diferente do primeiro</u>” (5A)</p>	- O volume está relacionado com o número de mol - base seja monoprotica e o ácido diprotico, então a proporção entre H ⁺ e OH ⁻ é outra	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1A, 3C, 5A (Total = 3)
	<p>“A quantidade de base necessária aumentou <u>devido ao aumento na concentração do ácido ou ao aumento na quantidade de hidrogênios ácidos, no caso de haver mudança do ácido</u>” (5B)</p>	- devido ao aumento na concentração	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas	5B (Total = 1)
	<p>“Pois houve a mudança de cor no erlenmeyer. Só que a <u>concentração dobrou, por isso o volume de B dobrou</u>” (1C)</p> <p>“Foi necessário este volume pois o ácido mais forte, ou seja, ele se ioniza mais que o ácido A. Logo, um volume de base</p>	- a concentração dobrou, por isso o volume de B dobrou	Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é	1C, 2A, 2B, 2C, 2F, 2H, 3B, 4B, 5C (Total = 9)

	<i>maior é necessário para neutralizar a quantidade de ácido inicial” (2C)</i>	<i>- o ácido mais forte</i>	circunstancial	
	<i>“Devido <u>ser um ácido forte</u>” (2E)</i> <i>“Acredito que foi necessário este volume de 10,35mL devido as propriedades do ácido C” (2J)</i>	<i>- ser um ácido forte</i>	Indeterminado	2E, 2J (Total = 2)
S03 – 03 Determinar a proporção percentual, em relação às massas, do sal e da água no sal hidratado. Explique, por favor, como os cálculos foram realizados por você.	<i>“A cada <u>3g de sal hidratado, 1g aproximadamente é de água</u>” (1B)</i>	<i>- 3g de sal hidratado, 1g de água</i>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1B (Total = 1)
	<i>“O sal hidratado é 100% assim o <u>sal seco terá 64,5% e água terá 35,4% da amostra</u>” (2A)</i> $\begin{array}{l} 3,07g - 100\% \\ 1,98g - x \\ x = 64,49\% \end{array}$ $\begin{array}{l} 3,07g - 100\% \\ 1,09 - x \\ x = 35,5 \end{array}$ <i>de sal na amostra de água na amostra” (3A)</i>	<i>- sal seco terá 64,5% e água terá 35,4%</i>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1C, 1D, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 2J, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D (Total = 19)
			Não expressou	1E, 1I, 2B, 2E, 2G, 3B (Total = 5)
S03 – 04 A proporção determinada anteriormente (item 3) seria diferente se no experimento fossem usadas massas diferentes de sal hidratado? Como se pode justificar isso?	<i>“Não, o sal e água estariam na <u>mesma proporção</u>, se a massa de sal aumentasse, a <u>massa de água aumentaria proporcionalmente</u>” (2F)</i> <i>“A <u>proporção permanece</u>, a <u>única coisa que irá mudar são as massas de cada substância</u>” (3C)</i>	<i>- mesma proporção, massa de água aumentaria proporcionalmente</i>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1C, 1D, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 2J, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D (Total = 19)
	<i>“Talvez, <u>dependendo do quanto o sal estaria hidratado, podendo ter mais, ou menos água presente</u>” (1B)</i>	<i>- dependendo do quanto o sal estaria hidratado</i>	Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	1B (Total = 1)

			Não expressou	1E, 1I, 2B, 2E, 2G, 3B (Total = 6)
<p>S03 – 03 Admitindo que a massa de um grão de feijão equivale a 10 u. i. (unidade inventada), calcule a massa de um grão de lentilha, de um grão de milho e de um grão de arroz utilizando a mesma unidade.</p>	<p><i>“Feijão/lentilha Feijão/milho</i> $10/x = 3,07$ $10/x = 1,36$ $x = 3,26 \text{ u.i.}$ $x = 7,35 \text{ u.i.}”$ (3C)</p> <p><i>“ lentilha: 0,282 feijão – 10 u.i. milho: 0,282 – 10 u.i.</i> $0,111 - x = 3,93 \text{ u.i.}$ $0,1775 - x = 6,29 \text{ u.i.}$ (5A)</p>		Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2C, 2D, 2H, 3A, 3C, 4A, 4B, 4D, 5A, 5B, 5C, 5D (Total = 17)
	<p><i>“Lentilha milho</i> $10 - 29$ $10 - 14$ $1 - x$ $1 - x$ $x = 29/10 = 2,9$ $x = 1,4$ $2,9 \cdot 10 \text{ u.i.} = 29 \text{ u.i.}$ $1,4 \cdot 10 \text{ u.i.} = 14 \text{ u.i.}”$ (2F)</p> <p><i>“1 feijão 10 u.i.</i> <i>Lentilha – 2,7x10 u.i. = 27 u.i. / milho – 1,5x10 u.i. = 15 u.i.”</i> (3D)</p>		Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	2F, 3B, 3D (Total = 3)
	<p><i>“Um grão de lentilha teria 3u.i., grão de milho 1,4 u.i., grão de arroz teria 14,5 u.i.”</i> (1B)</p> <p><i>“Lentilha = 10/3 = 3,3 u.i. milho = 6,6 u.i.”</i> (4E)</p>		Indeterminado	1B, 4E (Total = 2)
				Não expressou
<p>S03 – 04 Admitindo que a massa média de um grão de feijão seja 0,3g e que um pacote desses grãos possui 1 kg (1000g), quantas unidades de feijão, aproximadamente possui o pacote?</p>	<p><i>“1000 ÷ 0,3 = 3333,33 grãos aproximadamente”</i> (1C)</p> <p><i>“1 grão – 0,3g</i> $X - 1000g$ $x = 3333,33 \text{ grãos aproximadamente}”$ (3A)</p>		Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D (Total = 21)
	<p><i>“1 grão de feijão – 0,3g</i> $x - 1000g$ $x = 300$ \therefore Um pacote de feijão de 1kg possui aproximadamente 300</p>		Existe relação proporcional, entre variáveis,	2J, 3B (Total = 2)

	<p><i>grãos de feijão” (2J)</i></p> <p>“ 0,3g – 1 grão $1000g - x \quad x = 3,333 \text{ grãos}” (3B)$</p>		mas é circunstancial	
	<p>“Aproximadamente 3.333 feijões” (1B)</p>		Indeterminado	1B (Total = 1)
			Não expressou	2E, 2G (Total = 2)
<p>S04 – 01 Admitindo que as partículas que constituem o ácido clorídrico sejam formadas pela união de um átomo de hidrogênio com um átomo de cloro, podendo, assim, ser representadas por HCl, e sabendo que um 1,0g de gás hidrogênio interage com 35,5g de gás cloro para formar 36,5g de ácido clorídrico, qual a massa atômica de cloro em relação ao hidrogênio? Explique seu raciocínio.</p>	<p>“A massa atômica do cloro é 35,5 unidades de massa atômica em relação ao hidrogênio. Isso porque <u>1g de hidrogênio está para 35,5g de Cloro</u>, então em termos de massa atômica essa relação se mantém” (4D)</p> <p>$\begin{matrix} 1/2 H_2(g) + 1/2 Cl_2(g) \rightarrow HCl \\ 1g \qquad \qquad 35,5 \end{matrix}$</p> <p>Para que ocorra a formação de 36,5g de ácido clorídrico é necessário 1g de H₂ e de 1g de Cl₂. Eu parti da reação de formação do HCl balanceada e relacionei massa do reagente (Cl₂) com massa do produto (HCl)” (4E)</p>	<p>- 1g de hidrogênio está para 35,5g de</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis</p>	<p>4D, 4E (Total = 2)</p>
	<p>“A massa do cloro é aproximadamente 35 vezes maior que a massa atômica do hidrogênio. Já que tomamos a massa do gás hidrogênio (1,0 g) como referência” (1B)</p> <p>“Se a massa do gás hidrogênio é 1g, e a do gás cloro é 35,5g, a <u>massa atômica do cloro em relação ao hidrogênio seria 35,5 vezes maior</u>, pois 1g do gás hidrogênio reage com 35,5g do gás cloro e a relação é colocada é de 1 hidrogênio para 1 cloro” (5B)</p>	<p>- cloro é aproximadamente e 35 vezes maior que a massa atômica do hidrogênio</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis</p>	<p>1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2D, 2F, 2G, 2J, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4B, 5A, 5B (Total = 20)</p>
	<p>“1g H - 35,5g Cl $35,5/36,5 \times 100 = 97,3\%$ de cloro sobre uma única molécula $1/36,5 \times 100 = 2,7\%$ de hidrogênio”(2H)</p> <p>“Sabendo que a massa atômica corresponde à uma unidade de átomo e que o gás hidrogênio é composto por duas dessas unidades, tem-se: 1 u.a. - 0,5g de H₂</p>	<p>- uma unidade atômica terá a metade da massa</p>	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>2C, 2H, 4C (Total = 3)</p>

	<p>$x \text{ u.a} - 35,5\text{g Cl}_2 \rightarrow x = 71\text{Cl}$</p> <p><i>Ou seja, <u>uma unidade atômica terá a metade da massa (em gramas) de H₂ ou 1g estará para 2 unidades de massa atômica. Dessa forma tem-se que a massa do átomo de cloro é 71 vezes maior que a de um átomo de hidrogênio</u></i> (4C)</p>			
	<p><i>“A massa atômica do cloro seria 35,5 ja que é utilizado um H para um Cl, temos 1g de H como padrão, então 35,5g pode ser relacionada com a massa do átomo de Cl”</i> (5D)</p>		Indeterminado	5D (Total = 1)
S04 – 02 Baseado na tabela de Dalton, em que é tomado o hidrogênio como padrão de massa, quantas vezes a massa do átomo de ferro é maior que a massa do átomo de enxofre? Como chegou a esta conclusão?	<p><i>“Como o enxofre possui massa igual a 13, e a massa do ferro igual a 50, encontro a razão entre essas massas da seguinte forma: 50/13, a qual resulta em aproximadamente 3,85. Ou seja, <u>a massa do ferro é aproximadamente 3,85 x maior que a massa do enxofre</u>”</i> (2C)</p> <p><i>“Utilizando o hidrogênio como padrão tem-se que a massa do ferro é 50 e a do enxofre 13, fazendo a razão entre as duas é possível determinar que o ferro é 3,85 vezes maior que o enxofre”</i> (3C)</p>	<p><i>- a massa do ferro é aproximadamente 3,85 x maior que a massa do enxofre</i></p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2C, 2F, 2G, 2H, 2J, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4E, 5A, 5B (Total = 21)
	<p><i>“A massa do ferro - 50; a massa do enxofre = 13 A <u>massa do átomo de ferro é 37 vezes maior que a massa do enxofre</u>”</i> (2B)</p> <p><i>“Utilizando o hidrogênio como padrão de massa, têm-se que o ferro possui uma massa 37 vezes maior que a massa do enxofre. Se a massa do ferro é 50 vezes maior que a massa do hidrogênio e o enxofre 13 vezes a massa do hidrogênio, a diferença entre a massa do ferro para a massa do enxofre será 37 vezes”</i> (2D)</p>	<p><i>- A massa do átomo de ferro é 37 vezes maior que a massa do enxofre</i></p>	Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	2B, 2D, 4D (Total = 3)
	<p><i>“Tomando o Hidrogênio como padrão a massas relativas, supõe-se que a massa de ferro...”</i> (3B)</p> <p><i>“O enxofre é treze vezes maior que a massa do hidrogênio, pois utilizando a massa de H como padrão a massa do enxofre é treze vezes maior”</i> (5D)</p>		Indeterminado	3B, 5D (Total = 2)
	PROPORÇÃO COM USO DE PROPRIEDADES INTENSIVAS			
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de	Invariantes	Ocorrência quanto

		Registros	Operatórios	aos alunos
S01 – PI Considere que os ácidos e bases disponíveis possuam a mesma concentração. Como é possível determinar a proporção na reação entre eles?	<p>“<u>Testando uma quantidade X, para um quantidade X e ir dobrando ou dividindo essa quantidade até encontrar quando eles se "anularam" e assim encontrar a proporção</u>” (1B)</p> <p>“Sabendo as <u>massas molares de cada substancia; através do ponto de viragem na titulação; o volume gasto de base para neutralizar o ácido</u>” (2B)</p>	<p>- Testando uma quantidade e assim encontrar a proporção</p> <p>- massas molares de cada substancia</p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	<p>1B, 1C, 1E, 2A, 2B, 2C, 2E, 2H, 4B, 5C</p> <p>(Total = 10)</p>
	<p>“Como estes ácidos e bases dispostos possuem <u>a mesma concentração, logo a sua quantidade molar e o volume são praticamente os mesmos. Uma maneira de se determinar essas proporções, podemos tentar descobrir qual sua massa (nº de mols) ou seu volume</u>” (3B)</p> <p>“Fazendo uma reação que seja possível identificar quando a solução entra em equilíbrio. Com isso você terá o volume utilizado de cada componente e a partir disso é possível estabelecer <u>relação entre o volume e a concentração. Depois, ao determinar a quantidade de mols, é possível relacionar com a massa molar</u>” (3C)</p>	<p>- mesma concentração o volume são praticamente os mesmos</p> <p>- relação entre o volume e a concentração</p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas	<p>3B, 3C, 4D, 5A, 5D</p> <p>(Total = 5)</p>
	<p>“<u>A proporção se dá entre o número de mol com a reação balanceada assim você obtêm a proporção entre os mesmos</u>” (1A)</p> <p>“Por meio do método <u>de titulação ácido-base. Onde utilizamos uma substância com proporções conhecidas e indicar ácido-base para conseguir calcular e encontrar a concentração das substâncias presentes na solução</u>” (2J)</p>	<p>- A proporção se dá com a reação balanceada</p> <p>- titulação ácido-base</p>	Existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida	<p>1A, 1D, 2D, 2F, 2J, 3A, 4C, 4E, 5B</p> <p>(Total = 9)</p>
	<p>“<u>Através de indicadores</u>” (1I)</p> <p>“<u>Através de medidas de pH a final o produto de uma base e de um ácido é água e um sal. Caso o pH esteja diferente de 7 é preciso adicionar mais ácido ou base para terminar a reação</u>” (4A)</p>	<p>- Através d e indicadores</p> <p>- medidas de pH</p>	Indeterminado	<p>1I, 4A</p> <p>(Total = 2)</p>
				Não expressou
S01 – 05 Se a	“Seria necessário <u>metade da base para neutralizar o ácido</u> ”	- metade da base	Existe relação	<p>1A, 1E, 2G, 4C</p>

concentração da base fosse dobrada, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Como justifica esse valor?	(1E) “ <u>Metade do volume, pela proporção</u> ” (2G)	para neutralizar o ácido	proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	(Total = 4)
	“Seria necessária metade da quantidade da base, utilizada. O equivalente a aproximadamente 2,5mL, visto que, <u>o número de entidades em relação ao volume total, será duas vezes maior, tratando-se da solução básica</u> ” (2D) “Se a <u>concentração da base fosse dobrada, seria necessário metade do volume, pois ao dobrar a concentração, dobra-se o número de grupos hidróxidos disponíveis em um mesmo volume</u> ” (5B)	- o número de entidades em relação ao volume total, será duas vezes maior - <u>o número de entidades em relação ao volume total, será duas vezes maior</u>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas	1B, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4D, 4E, 5B, 5D (Total = 17)
	“Se a <u>concentração for dobrada, será necessário dobrar a concentração do ácido para que eles possam ter a mesma concentração. Será necessário 10mL de ácido</u> ” (2E) “Provavelmente precisaria da metade do volume, pois o <u>"poder" de neutralização da base diante do ácido seria maior, a proporção estequiométrica seria diferente</u> ” (5A)	- possam ter a mesma concentração - "poder" de neutralização da base diante do ácido seria maior	Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	1C, 2E, 2J, 5A, 5C (Total = 5)
	“Com a <u>concentração da base dobrada seria necessário metade do volume de base para neutralização, pois a concentração da base é a metade da base</u> ” (1I)	- concentração da base é a metade da base	Indeterminado	1I (Total = 1)
S01 – 04 Se a concentração da base fosse dobrada, quanto seria necessário da base para neutralizar o ácido? Como justifica	“Talvez a proporção passaria a ser 1:1”(1B) “Seria necessário <u>a mesma quantidade (v) de ácido e base, pois a proporção da reação não é 1 C para 1 B</u> ” (3C)	- a mesma quantidade (v) de ácido e base	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas	1B, 1I, 3C, 4E (Total = 4)

esse valor?			variáveis	
	<p>“Se a <u>concentração da base fosse dobrada, seria usado uma menor quantidade de base para neutralizar a solução, pois haverá uma quantidade maior de OH⁻ para consumir a quantidade H⁺</u>” (2A)</p> <p>“5mL (aproximadamente). Se uma unidade de ácido reage com duas unidades de base, <u>ao dobrar a concentração da base diminui-se pela metade o volume de base usada</u>” (4A)</p>	- concentração da base fosse dobrada, seria usado uma menor quantidade de base para neutralizar	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas	1D, 2A, 2C, 2D, 2E, 2J, 3A, 4A, 4B, 4D, 5A, 5B, 5C, 5D (Total = 14)
	<p>“Não pode se afirmar, pois como disse acima depende da <u>relação dos coeficientes da equação</u>” (1A)</p>	- relação dos coeficientes da equação	Existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida	1A (Total = 1)
	<p>“O dobro também, <u>pela proporção</u>” (1C)</p> <p>“Seria necessária a metade do volume encontrado. O volume é o dobro na neutralização porque a concentração de ácido é o dobro da concentração da base. <u>Se a concentração se igualar, o volume do ácido e da base serão as mesmas para a neutralização</u>” (2F)</p>	- Se a concentração se igualar, o volume do ácido e da base serão as mesmas	Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	1C, 1E, 2F, 2G, 3B, 4C (Total = 6)
	<p>“Um volume menor. Como <u>o ácido está bem concentrado, o volume gasto seria menos, pois ambos (ácido e base) teriam concentrações parecidas</u>” (2B)</p> <p>“Se dobrar a concentração a troca seria simultânea e gostaria a mesma quantidade base para neutralizar o ácido, como aconteceu no 1º experimento” (2H)</p>	- o ácido está bem concentrado, concentrações parecidas - a troca seria simultânea	Indeterminado	2B, 2H (Total = 2)
S03 – PI Como é possível determinar a proporção de elementos em uma substância, como, por exemplo, na molécula de H ₂ O?	<p>“Pensando na água isso pode ser feito através da <u>medição do volumes dos gases que a compõe, por meio de eletrólise obtendo o dobro do volume de hidrogênio para um volume de oxigênio</u>” (2D)</p> <p>“No caso da água pode ser feita a síntese dela, sabendo as massas iniciais e a final pode-se estabelecer uma proporção”</p>	- medição do volumes dos gases que a compõe - sabendo as massas iniciais e a final	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	2D, 3C, 5C (Total = 3)

	(3C)			
	<p>“Sabendo a <u>massa total e parcial de cada e fazendo a porcentagem</u>” (1C)</p> <p>“Na água nós sabemos a <u>massa correspondente a 1 mol</u> e com isso conseguimos determinar a proporção de cada componente presente na substância” (3A)</p>	<p>- massa total e parcial de cada e fazendo a porcentagem</p> <p>- massa correspondente a 1 mol</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis</p>	<p>1C, 2F, 2H, 3A</p> <p>(Total = 4)</p>
	<p>“Basta saber a <u>massa molecular, assim como o massa atômica de ambos</u> elementos constituintes da molécula. No caso da água, sabe-se que sua massa molar é 18g/mol, o Hidrogênio é 1g/mol e o oxigênio 16g/mol. Se 18g corresponde a 100% da massa, 16g corresponde a 88,8% da massa de H₂O, o restante 11,2% corresponde a proporção de Hidrogênio” (1D)</p> <p>“É <u>determinado pela massa atômica de cada elemento</u>, por exemplo a massa molecular da água é 18g/mol logo a massa atômica do oxigênio é 16g então a proporção em termos de massa do elemento oxigênio na água é de 16g de oxigênio para 18 g de água, ou então 2 g de hidrogênio para 18 g de água. O do hidrogênio é 2 porque a água possui 2 átomos de hidrogênio na sua estrutura” (4E)</p>	<p>- massa molecular, assim como o massa atômica de ambos</p> <p>- determinado pela massa atômica de cada elemento</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas</p>	<p>1D, 4A, 4D, 4E, 5D</p> <p>(Total = 5)</p>
	<p>“Através de cálculos, <u>cálculos esses que eu acredito dependerem do balanceamento da equação</u>” (1B)</p> <p>“Cada molécula tem sua proporção própria. Acredito que uma das formas, de se determinar a quantidade de alguns átomos ligados ao outro, é <u>pela regra do octeto</u>. Alguns elementos alcançam suas devidas estabilidades por meio da ligação química. Na água (H₂O), por exemplo, o Oxigênio se estabiliza se ligando à mais dois elementos. Isso ocorre também para o Hidrogênio (H)” (3B)</p>	<p>- balanceamento da equação</p> <p>- pela regra do octeto</p>	<p>Existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida</p>	<p>1B, 2A, 2B, 2E, 3B, 5A</p> <p>(Total = 6)</p>
	<p>“É possível determinar <u>através de experimentos</u> para se chegar a fórmula mínima do composto” (4B)</p> <p>“É possível através da <u>relação com padrão</u>” (5B)</p>	<p>- através de experimentos</p> <p>- relação com</p>	<p>Indeterminado</p>	<p>1E, 2C, 2J, 4B, 5B</p> <p>(Total = 5)</p>

		<i>padrão</i>		
			Não expressou	1I, 2G, 3D (Total = 3)
S03 – 01 Como é possível determinar a quantidade em matéria do sal e da água no sal hidratado?	<p>“Secando o sal no cadinho e vendo a <u>diferença de massa</u>” (1C)</p> <p>“<u>Pesando a massa do sistema final e inicial</u>, já que, com o aquecimento do sulfato a água presente evapora. Fazendo a diferença das massas dos sistemas, é possível saber a quantidade de água presente no sal e do sulfato” (2F)</p>	<p>- a diferença de massa</p> <p>- Pesando a massa do sistema final e inicial</p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1B, 1C, 1D, 2A, 2F, 3A, 3B, 3C, 4E, 5A, 5B, 5C (Total = 12)
	<p>“A diferença de massa do sal antes do aquecimento e depois do aquecimento é referente a massa de água. A quantidade de matéria do sal pode ser estabelecido <u>pela proporção de água e o sal</u>. Determinado o número de hidratação” (3D)</p>	<p>- pela proporção de água e o sal</p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	3D (Total = 1)
	<p>“Pesando inicialmente a massa total do composto. Colocar o mesmo para aquecer e pesar novamente o sal esbranquiçado. A massa "perdida" durante o aquecimento seria a massa de H₂O. <u>Usando a relação g/mol</u>, determinaria a quantidade de matéria” (2C)</p> <p>“Sabendo a massa do sal hidratado e a massa do sal após o desprendimento da água depois de aquecido. Então com a diferença das massas inicial e final encontra-se a massa da água <u>faz-se uma relação com a massa molar da água</u>, encontra-se o número de mol, o mesmo para o sulfato desidratado, relaciona-se com a massa molar, encontra-se o número de mol e depois determina-se a proporção entre o número de mol das substâncias” (4D)</p>	<p>- Usando a relação g/mol</p> <p>- faz-se uma relação com a massa molar</p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas	2B, 2C, 2D, 2E, 2J, 4A, 4B, 4D, 5D (Total = 9)
				Não expressou
S06 – 03 Explique como é possível determinar a massa de	<p>“É possível determinar a massa de ácido tartárico através do experimento de titulação. <u>Com o volume da alíquota, as proporções e a quantidade de NaOH utilizado, é possível</u></p>	<p>- Com o volume é possível fazer relações entre</p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser	2A, 4B, 5D (Total = 3)

ácido tartárico contido na amostra de vinho (20mL).	<i>fazer relações entre estes valores para se determinar a massa do ácido” (4B)</i>	<i>estes valores para se determinar a massa - massa contida em 20mL</i>	determinada por correspondências entre diferentes variáveis	
	<i>“Uma das formas seria relacionado a massa contida em 1L e a partir disso fazer uma relação entre a <u>massa contida em 20mL</u>” (5D)</i>			
	<i>“Primeiramente com uma <u>relação mol-litro, e depois mol-g</u>” (1B)</i> <i>“<u>Conhecendo a concentração real da base e o volume exato utilizado para neutralizar o ácido pode-se determinar a quantidade de matéria de base e pela relação estequiométrica da reação, pode-se dizer a quantidade de matéria da base é o dobro do ácido, multiplicando esse valor encontrado pela massa molar do ácido tartárico, tem-se a massa contida nos 20mL</u>” (3D)</i>	<i>- relação mol-litro, e depois mol-g. - Conhecendo a concentração e o volume.</i>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas	1A, 1B, 2D, 2F, 3B, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B (Total = 12)
	<i>“Primeiramente calculamos a concentração da solução de ácido tartárico, na sequência é possível calcular o número de mols, a partir destes valores, podemos determinar a massa do titulado utilizando o volume da base titulada, esses <u>cálculos seriam para 1L da solução, então para achar a massa presente em 20mL usaremos uma regra de três. $C = n/v$ $n = m/MM$” (3A)</u></i> <i>“A partir do número de mols de Ac. tart, podemos relacionar com a quantidade de massa presente em 1 mol. 1 mol Ac. tart - 150,087g/mol 1,325 mol - x x = 198,86g” (5C)</i>	<i>- cálculos seriam para 1L da solução, então para achar a massa presente em 20mL usaremos uma regra de três</i>	Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	1C, 1E, 2B, 2C, 2E, 3A, 3C, 5C (Total = 8)
	<i>“Uma vez descoberta a porcentagem do sólido na amostra de vinho, basta realizar uma relação entre o <u>grau de pureza de ácido e o que foi dele utilizado</u>” (1D)</i> <i>“Primeiramente precisaria saber sua concentração g/mL e calcular a massa $c = m/v$” (2H)</i>	<i>- o grau de pureza</i>	Indeterminado	1D, 2H (Total = 2)
			Não expressou	1I, 2G (Total = 2)
S06 – 05 Supondo que	<i>“<u>Comparando com os íons H^+ da solução já existente vai</u></i>	<i>- Comparando</i>	Existe relação	1A, 2D

a massa do exercício 4 tenha sido determinada, como seria possível encontrar a quantidade dos íons que compõem o sal presentes na solução antes da evaporação?	<p><i>“haver o mesmo número de <u>íons Na⁺ no sal</u>” (1A)</i></p> <p><i>“Levando-se em consideração a reação e a formação do sal NaOOCCH(OH)CH(OH)COONa, deduz-se que quando dissolvido em água haverá a formação de <u>1 íon⁻ OOCCH(OH)CH(OH)COO⁻ (aq)</u> e <u>2 íons Na⁺ (aq)</u>. Dessa forma, supondo que se tenha 1 mol do sal, após a dissociação haverá a formação de 1 mol do ânion e 2 mol do cátion” (2D)</i></p>	<p><i>com os íons H⁺ com íons Na⁺.</i></p> <p><i>- 1 íon⁻ OOCCH(OH)CH(OH)COO⁻ (aq) e 2 íons Na⁺ (aq).</i></p>	<p>proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis</p>	<p>(Total = 2)</p>
	<p><i>“<u>A partir da massa do sal seria possível calcular a quantidade de íons a partir da massa molar do ânion e do cátion e de suas respectivas porcentagens. Por exemplo, a massa do sal seria de 155g/mol, o que corresponde a 15% de Na⁺ e 85% de C₄H₅O₆⁻ se tivéssemos uma massa de 25g, 3,75g seria de Na⁺ e 21,25g de C₄H₅O₆⁻” (5D)</u></i></p>	<p><i>- A partir da massa do sal seria possível calcular a quantidade de íons</i></p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis</p>	<p>5D</p> <p>(Total = 1)</p>
	<p><i>“Pela dissolução dos mesmos em água NaOH ↔ Na(aq) + (OH)aq</i></p> <p><i>Pela relação molar dessas espécies, por exemplo, <u>com a massa molar delas, obtém-se as massas da mesma forma é possível determinar a massa dos íons referentes ao ácido” (4A)</u></i></p> <p><i>“<u>Considerando a massa molar com o n° de Avogadro relacionava a massa encontrada para achar o n° de íons envolvidos” (4C)</u></i></p>	<p><i>- com a massa molar delas, obtém-se as massas</i></p> <p><i>Considerando a massa molar com o n° de Avogadro</i></p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas</p>	<p>3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5B</p> <p>(Total = 6)</p>
	<p><i>“<u>A quantidade de mols para os íons está associada com o índice da fórmula da substância, ou seja, 1AxBy → XA^{+y} + YB^{-x}” (3C)</u></i></p>	<p><i>- associada com o índice da fórmula da substância</i></p>	<p>Existe a relação proporcional, mas ela só pode ser determinada, se a reação for conhecida</p>	<p>3C</p> <p>(Total = 1)</p>
	<p><i>“Pensando nos 13,4mL do titulante, temos que 0,00134mol de NaOH foi utilizado na reação. Como a relação (nos produtos) entre os íons do sal é de <u>1Na⁺ para 1 tartárico</u> na equação, na reação temos que 0,00134mol de Na⁺ está para 0,00134 mol de tartárico⁻, ou seja, um total de 0,00268mol de íons. Se</i></p>	<p><i>- 1Na⁺ para 1 tartárico</i></p>	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>2C</p> <p>(Total = 1)</p>

	<i>1 mol - $6,02 \times 10^{23}$; $0,00268 \text{ mol} = 1,613 \times 10^{21}$. Logo, a quantidade de íons que compõem o sal é de $1,613 \times 10^{21}$ partículas” (2C)</i>			
	<p>“Basta <u>analisar uma molécula separadamente e depois relacionar com o n° de mol</u>” (1D)</p> <p>“Através de uma reação de decomposição do sal ou uma análise instrumental como massas que decompõe algumas partes das moléculas, sendo identificado em uma "escala" de massa” (1A)</p>	<p>- analisar uma molécula separadamente e depois relacionar com o n° de mol</p> <p>- reação de decomposição do sal ou uma análise instrumental</p>	Indeterminado	1D, 1E, 2F, 2H, 3A, 5A, 5C (Total = 7)
			Não expressou	1B, 1C, 1I, 2A, 2B, 2E, 2G, 3B, 4B (Total = 9)
PROPORÇÃO NA DETERMINAÇÃO DE FÓRMULAS				
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos
<p>AP – 04Conhecendo as massas atômicas de dois elementos, X e Z, determine a fórmula mínima do composto formado por X e Z, considerando que seus percentuais na amostra sejam: X =75%; Z =25%. Explique como chegou ao resultado. Dados: X = 12 g/mol; Z = 1 g/mol.</p>	<p>“X_1Z_4. <u>Equiparando as massas aos percentuais que foram dados</u>” (1A)</p>	<p>- Equiparando as massas aos percentuais</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis</p>	<p>1A (Total = 1)</p>
	<p>“Como as amostras tem seus valores em %, supõem-se as massas dos elementos em 100g do composto. Assim, munido das massas molares de X e Y é possível determinar o n° de mols de cada átomo no composto. Simplificando pelo maior divisor comum entre os números de mols, <u>obtem-se a fórmula mínima do composto</u>” (4A)</p> <p>“Considerando que foi usado 1 mol de X, e a massa desse é</p>	<p>- obtêm-se a fórmula mínima do composto</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser expressa na determinação de fórmulas químicas</p>	<p>3C, 3D, 4A, 4E, 5A, 5B, 5C (Total = 7)</p>

	75% do total do composto, esse composto tem 16g, sendo 12g de X e restando 4g de Z, como 1 mol de Z tem 1g, 4g teriam 4 mols” (5A)			
	<p>“Creio que X_3Z_1, já que <u>3 vezes mais de X do que de Z</u> (não sei onde encaixar os dados fornecidos)” (1B)</p> <p>“A massa de X no composto deve ser 3 vezes maior que a de Z”(2F)</p>	- que 3 vezes mais de X do que de Z	Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial	1B, 1D, 1I, 2B, 2C, 2D, 2F, 3A, 4C, 4D (Total = 10)
	<p>“Não lembro” (1C)</p> <p>“Agora dá pra perceber como o aprendizado foi mecânico!” (2G)</p>		Indeterminado	1C, 2E, 2G, 2H, 5D (Total = 5)
			Não expressou	2A, 3B, 4B (Total = 3)
	<p>“<u>Através de uma razão, entre a massa (parâmetro) e a massa de outro elemento que se quer relacionar</u>” (1D)</p> <p>“Conhecendo a massa de cada um é possível estabelecer uma relação entre eles, e determinar a proporção entre os elementos” (4D)</p>	- Através de uma razão, entre as massas	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis	1D, 2C, 2F, 4A, 4D, 4E, 5B, 5C (Total = 8)
S03 – 07 Como é possível determinar a proporção de elementos em uma substância, usando a massa como parâmetro?	<p>“Sabendo a massa de cada elemento, <u>analisar a porcentagem na massa total</u>” (2H)</p> <p>“<u>Utilizando outra como seu padrão. Primeiro determina a massa do seu padrão e posteriormente vê quanto da outra substância é necessária para reagir como o seu padrão e por último estabeleça a relação entre os dois.</u> Também é possível <u>determinar a proporção calculando a porcentagem</u> e posteriormente calcular a fórmula mínima” (3C)</p>	<p>- analisar a porcentagem na massa total</p> <p>- <u>Utilizando outra (substância) como seu padrão. Determinar a proporção calculando a porcentagem</u></p>	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis	1C, 2H, 3C (Total = 3)
	“É necessário <u>conhecer</u> quais os <u>elementos</u> , a massa molar de cada um deles <u>fazer uma relação entre a massa da substância e dos elementos</u> ” (5D)	- Conhecer elementos, a massa molar de	Existe relação proporcional, e ela pode ser	5D (Total = 1)

		<i>cada um deles</i>	determinada com o uso de propriedades intensivas	
	<p><i>“Pensando como antigos químicos, Dalton por exemplo, no seu modelo atômico ele sabia que a partir da combinação dos reagentes formavam novos produtos, a partir da reorganização desses átomos. Como desde os tempos de Lavoisier ele propôs que a massa se conserva, portanto, um dos meios de se calcular a proporção destas substâncias a partir do massa, pela fórmula mínima para cada átomo. Por meio da prática, é possível determinar a porcentagem de formação de alguns produtos.</i></p> <p><i>Temos que, em um processo químico, chegamos a um resultado em 100% - 75% de X e 25 X de Y. A partir desses dados, e da massa molar disposta na tabela, por exemplo /12 u.m. e 1 u.m.</i></p> <p><i>$75\text{g}/12 \rightarrow 6,25 \text{ mols}$ e $25/1 = 25 \text{ mols}$</i></p> <p><i>$6,25\text{mols}/6,25\text{mols} = 1$ e $25/6,25 \rightarrow 4$</i></p> <p><i>Segundo a massa molar ser bastante conhecida, logo chega-se a conclusão de que trata-se do CH₄ (metano)” (3B)</i></p>	<p><i>- a partir do massa, pela fórmula mínima para cada átomo.</i></p> <p><i>- a massa molar ser bastante conhecida</i></p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser expressa na determinação de fórmulas químicas</p>	<p>3B</p> <p>(Total = 1)</p>
	<p><i>“Através de sua relação quantitativa” (2D)</i></p> <p><i>“É possível através da massa, volume e densidade determinar a fórmula mínima através de cálculos” (4B)</i></p>		<p>Indeterminado</p>	<p>1B, 2D, 3A, 4B, 5A</p> <p>(Total = 5)</p>
			<p>Não expressou</p>	<p>1E, 1I, 2A, 2B, 2E, 2G, 2J, 3D</p> <p>(Total = 8)</p>
<p>S04 – 03 Considerando as massas relativas de Dalton, suponha que por meio de uma análise experimental, um composto é</p>	<p><i>“(Usei as porcentagens dos compostos e fui atribuindo valores até chegar a fórmula por meio da massa)”(1A)</i></p>	<p><i>- Porcentagem dos compostos. Por meio da massa</i></p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes</p>	<p>1A</p> <p>(Total = 1)</p>

<p>formado por 26,3% de azoto e 73,7% de oxigênio. Represente a fórmula desse composto e explique a lógica adotada para determinação da fórmula.</p>	<p>“26,3% → azoto → 26,3 g 1 átomo de O - 7g 73,7% → oxigênio → 73,7g 10,53 = y - 73,7g 1 átomo de azoto - 5g → NO₂ 5,26 = x - 26,3 g 5,26/5,26 = 1 10,53/5,26 = 2 A lógica usada para a fórmula (NO₂) é através dos cálculos de fórmula mínima” (1I)</p> <p>“100g → 26,3g (símbolo azoto) → 5 → 5,26 ÷ 2 5,26 - 10,52 73,7g (símbolo oxigênio) → 7 → 10,52 ÷ 2 1 - 2 A cada 1 azoto é necessário 2 oxigênios Dividi a massa presente em 100g de cada composto, pela sua massa elementar e tentei criar uma proporção entre as massas” (3D)</p>		<p>variáveis</p> <p>Existe relação proporcional, e ela pode ser expressa na determinação de fórmulas químicas</p>	<p>1D, 1I, 2H, 3A, 3D, 4A, 4E, 5A, 5B (Total = 9)</p>
	<p>“1 azoto + 5 oxigênio → 6 azoto + oxigênio. <u>Através da porcentagem sendo 6 partículas igual a 100%</u> chega-se que aproximadamente 5 partículas é 73,7% e uma partícula é 26,3%” (2A)</p> <p>“Se o azoto reagir com o oxigênio segundo a teoria de Dalton, respeitando uma proporção, a massa final do composto será 12g, o que equivale a 100%. Dessa forma 26,3% desse total corresponde à massa do azoto, 3,156g e a diferença entre eles equivale à massa do oxigênio, 8,884g. O composto possui, então, fórmula NO” (2D)</p>	<p>- Através da porcentagem sendo 6 partículas igual a 100%</p>	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>1B, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 3B, 3C, 4C, 4D (Total = 10)</p>
	<p>“N + O” (2J)</p> <p>“26,3% azoto (N) 73,7% oxigênio NO₂ m = 5 m=7” (5D)</p>		<p>Indeterminado</p>	<p>2J, 5D (Total = 2)</p>
			<p>Não expressou</p>	<p>1C, 1E, 2G, 4B (Total = 4)</p>

APÊNDICE J – Categorização das respostas quanto à massa molar

MASSA MOLAR COMO UM PADRÃO ESTABELECIDO				
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos
<p>AP – 04Conhecendo as massas atômicas de dois elementos, X e Z, determine a fórmula mínima do composto formado por X e Z, considerando que seus percentuais na amostra sejam: X =75%; Z =25%. Explique como chegou ao resultado. Dados: X = 12 g/mol; Z = 1 g/mol.</p>	<p>“X_1Z_4. Equiparando as massas aos percentuais que foram dados” (1A)</p> <p>“Considerarei os valores de X e Z em gramas e utilizando a relação g/mol efetuei os cálculos (regras de três simples) e cheguei ao resultado” (2C)</p>	<p>- Equiparando as massas aos percentuais que foram dados</p> <p>- valores de X e Z em gramas e utilizando a relação g/mol</p>	<p>Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas</p>	<p>1A, 1D, 2C, 3C, 3D, 4A, 4E, 5A, 5B, 5C</p> <p>(Total = 10)</p>
	<p>“Creio que X_3Z_1, já que 3 vezes mais de X do que de Z (não sei onde encaixar os dados fornecidos)” (1B)</p> <p>“A massa de X no composto deve ser 3 vezes maior que a de Z” (2F)</p>	<p>- já que 3 vezes mais de X do que de Z</p> <p>- 3 vezes maior</p>	<p>Somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição</p>	<p>1B, 2F, 3A</p> <p>(Total = 3)</p>
	<p>“12 – 100% 1 – 100% $x - 75%$ $z = 25%$ $x = 36$ $z = 1$ Z_1X_{36} Calculei quanto 75% equivalia de 12 e quanto 25% equivalia de 1. Depois multipliquei para encontrar um valor inteiro” (4D)</p>	<p>- 75% equivalia de 12 e quanto 25% equivalia de 1</p>	<p>Somente os dados individuais, de cada componente, são suficientes para resolver o problema</p>	<p>4D</p> <p>(Total = 1)</p>
	<p>“$X\% = 75/12 = 6,25$ $Z\% = 25/12 = 2,08$ Z_2X_6 Dividindo-se a porcentagem pela maior massa obtêm-se a fórmula mínima” (4C)</p>		<p>As massas das partículas são iguais</p>	<p>4C</p> <p>(Total = 1)</p>
	<p>“Não lembro” (1C)</p> <p>“16g – 100% 16g – 100% $x - 75\% \Rightarrow x = 12g$ $x - 25\% \Rightarrow x = 4g$” (5D)</p>		<p>Indeterminado</p>	<p>1C, 2D, 2E, 2G, 2H, 5D</p> <p>(Total = 6)</p>

			Não expressou	1I, 2A, 2B, 3B, 4B (Total = 5)	
S03 – 01 Como é possível determinar a quantidade em matéria do sal e da água no sal hidratado?	<i>"Através da massa molar do composto e da massa obtida experimentalmente é possível realizar uma simples regra de 3 e encontrar a quantidade de matéria do sal. Já que no aquecimento a água evapora" (2B)</i>	<i>- Através da massa molar da massa obtida experimentalmente é possível realizar uma regra de 3</i>	Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas	2B, 2C, 2D, 2E, 2J, 4A, 4D, 5D (Total = 8)	
	<i>"A massa do sal (antes do aquecimento) é a massa total de sal + água. Ao aquecer a água é liberada, restando somente a massa do sal. Pela relação massa molar e massa obtêm-se a quantidade de matéria" (4A)</i>				
	<i>"Pesando a massa do sistema final e inicial, já que, com o aquecimento do sulfato a água presente evapora. Fazendo a diferença das massas dos sistemas, é possível saber a quantidade de água presente no sal e do sulfato" (2F)</i> <i>"Sabendo a quantidade de sal hidratado inicialmente, após aquecermos a amostra até que seque, e pesarmos no final novamente, conseguimos determinar a quantidade de água presente e assim determinarmos a massa só do sal" (3A)</i>	<i>- diferença das massas dos sistemas, é possível saber a quantidade de água presente</i>	Somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição	1B, 1C, 1D, 2A, 2F, 3A, 3B, 3C, 3D, 4B, 4E, 5A, 5B, 5C (Total = 14)	
			Não expressou	1E, 1I, 2G, 2H, (Total = 4)	
S03 – 02 A utilização de dados experimentais é suficiente para determinar a fórmula de uma substância? Qual a sua justificativa para isso?	<i>"Sim, pois através da pesagem e das relações entre eles conseguimos chegar a fórmula de cada um. (correção) Não, porque precisaria da cada valor de massa dos elementos" (1E)</i>	<i>- através da pesagem e das relações entre eles conseguimos chegar a fórmula de cada um</i>	Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas	1E, 2A, 2F, 2J, 3A, 5C (Total = 6)	
	<i>"Não, para determinar a fórmula necessitamos de alguns valores teóricos, como por exemplo o valor da massa molar do composto" (2J)</i>	<i>- necessitamos de alguns valores teóricos, como por exemplo o valor da massa molar</i>			
	<i>"Sim. Antigamente, sem o auxílio de equipamentos modernos, já se conheciam a fórmula de uma grande variedade de</i>	<i>- Neste caso é possível</i>	Somente os dados experimentais são	1B, 1C, 1D, 3C, 3D, 4B, 4E, 5B	

	<p><i>substâncias” (3D)</i></p> <p><i>“Neste caso é possível determinar quantas moléculas de água faz parte desse sal. Mas acredito que dê sim só não sei como” (4E)</i></p>	<p><i>determinar quantas moléculas de água faz parte desse sal</i></p>	<p>suficientes para determinar a composição</p>	<p>(Total = 8)</p>
	<p><i>“Acredito que não. Toda determinação experimental tem que estar associado a uma teoria” (5A)</i></p> <p><i>“Somente os dados experimentais sem nenhum outro dado teórico não é possível, pois é necessário comparar os dados experimentais com um padrão para verificar se está correto ou não” (5D)</i></p>		<p>Indeterminado</p>	<p>2B, 2C, 2D, 2E, 3B, 4A, 4D, 5A, 5D</p> <p>(Total = 9)</p>
			<p>Não expressou</p>	<p>1I, 2G, 2H</p> <p>(Total = 3)</p>
<p>S03 – 05 Para que servem os padrões? Qual a importância em se adotar padrões na Química?</p>	<p><i>“Padrões são utilizados para tornar possível determinados tipos de medidas. Na Química, por exemplo, em oxidação-redução utiliza-se o padrão de Hidrogênio para determinar quem reduz e quem oxida. Sem os padrões, tais relações de medidas não seriam possíveis” (2C)</i></p> <p><i>“Os padrões são importante, pois podemos pensar e resolver alguns problemas usando estes dados, como o feijão por exemplo. No caso da química em nível microscópico, utiliza-se padrões para determinar o peso das coisas” (3B)</i></p>	<p><i>- utiliza-se o padrão de Hidrogênio</i></p>	<p>Os padrões marcam um "zero"</p>	<p>1B, 1C, 2C, 3B, 4D, 5B</p> <p>(Total = 6)</p>
	<p><i>“Para fazer comparações entre valores experimentais e teóricos. Importante para verificar se os valores obtidos experimentalmente eram esperados, e se não for obtido o valor esperado, discutir as possíveis causas para o acontecimento” (2F)</i></p> <p><i>“Padrões servem para se seguir em análises. A importância em se adotar padrões é para a comparação de dados experimentais para se ter um resultado mais próximo do padrão” (4B)</i></p>	<p><i>- comparações entre valores experimentais e teóricos.</i></p> <p><i>- comparação de dados experimentais</i></p>	<p>Os padrões servem como referência para comparações</p>	<p>1D, 1E, 2A, 2B, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 2J, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 5A, 5D</p> <p>(Total = 17)</p>
	<p><i>“Os padrões servem para estabelecer relações, tudo na química se parte de um padrão” (4E)</i></p>			<p>Indeterminado</p>

	<i>“Para que se consiga calcular diferentes valores, proporções através dele” (5C)</i>			
			Não expressou	II (Total = 1)
S03 – 06 Você se lembra de algum padrão usado na Química? Se sim, por favor, comente.	<i>“Fora o já citado na questão anterior, temos a massa atômica que é padronizada através da massa do carbono 12. Uma unidade de massa atômica equivale a 1/12 da massa do carbono” (2C)</i> <i>“Padrões de reatividade. Padrões em eletrodos. EPH, foi definido, em <u>uma condição padrão, que o potencial de redução do Hidrogênio é de 0v, desta forma, aplicando esse padrão, como referência, pode-se determinar o padrão de redução de várias outras espécies</u>” (3D)</i>	<i>- uma condição padrão, que o potencial de redução do Hidrogênio é de 0v</i>	Os padrões marcam um "zero"	1C, 1D, 2C, 2G, 2H, 3B, 3D, 4D, 4E, 5B (Total = 10)
	<i>"Sempre que vamos <u>analisar uma amostra, partimos de uma amostra padrão, ou valores padrão, com isso conseguimos determinar a pureza da amostra.</u> Geralmente usamos esse processo em química analítica, mas temos contato com isso desde sempre como na química geral quando temos que explicar o porque deu errado na teoria que explica esse padrões" (3A)</i> <i>“Na química são utilizados diversos padrões dentre eles podemos destacar quando temos uma análise de amostra como por exemplo quando é realizada uma análise de água em relação à dureza em que a [Ca] e [Mg] podem ser comparadas com o padrão para verificar se água é dura ou não” (5D)</i>	<i>- analisar uma amostra, partimos de uma amostra padrão, ou valores padrão, com isso conseguimos determinar a pureza da amostra</i>	Os padrões servem como referência para comparações	2A, 2B, 2E, 2F, 2J, 3A, 3C, 4A, 4B, 5A, 5D (Total = 11)
	<i>“O valor de 1 mol, normalmente é formado como referência para obter novos valores” (1B)</i> <i>“Os padrões de massa e volume estabelecidos com base na água, por exemplo” (2D)</i>		Indeterminado	1B, 2D, 5C (Total = 3)
			Não expressou	1E, 1I, (Total = 2)
S03 – 07 Como é possível determinar a	<i>“<u>Estipulando uma massa padrão, e através dela, determinar a massa dos demais elementos.</u> Com as massas estipuladas, ao</i>	<i>- Estipulando uma massa</i>	Existe relação entre massa	2C, 2F, 3B, 5D

proporção de elementos em uma substância, usando a massa como parâmetro?	<p><i>realizar uma reação, observar <u>quantos gramas (por ex.) de um elemento reage com tantas gramas de outro elemento.</u> Observando o que reagiu e o que sobrou, podemos estipular a proporção” (2C)</i></p> <p><i>“Fazendo a relação da <u>massa total da substância com a massa individual</u> característica de cada elemento presente na substância, tomando um deles como referência” (2F)</i></p>	<p><i>padrão, determinar a massa dos demais elementos quanto s gramas (por ex.) de um elemento reage com tantas gramas de outro elemento</i></p>	<p>padrão, massa experimental e a quantidade de partículas</p>	<p>(Total = 4)</p>
	<p><i>“<u>Conhecendo a massa de cada um</u> é possível estabelecer uma relação entre eles, e determinar a proporção entre os elementos” (4D)</i></p> <p><i>“Através da <u>relação de quantidade utilizada de cada um partindo da mesma massa</u>” (4E)</i></p>	<p><i>- Conhecendo a massa de cada um.</i></p>	<p>Somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição</p>	<p>1C, 1D, 2H, 3C, 4D, 4E, 5B, 5C</p> <p>(Total = 8)</p>
	<p><i>“Criando um padrão, uma proporção, uma referência” (1B)</i></p> <p><i>“Usando um elemento puro com uma massa bem definida e fazer comparação com quantidades de elementos iguais e estabelecer proporções” (4A)</i></p>		<p>Indeterminado</p>	<p>1B, 2D, 3A, 4A, 4B, 5A</p> <p>(Total = 6)</p>
			<p>Não expressou</p>	<p>1E, 1I, 2A, 2B, 2E, 2G, 2J, 3D</p> <p>(Total = 8)</p>
<p>S04 – 02 Baseado na tabela de Dalton, em que é tomado o hidrogênio como padrão de massa, quantas vezes a massa do átomo de ferro é maior que a massa do átomo de enxofre? Como chegou a esta conclusão?</p>	<p><i>“Arbitrariamente Dalton diz que <u>1 átomo de hidrogênio possui 1 g, logo, todos os demais tem suas massas definidas a partir desta referência.</u> A massa do ferro é 50/13 vezes maior que a massa do enxofre, é possível saber isso pois <u>ambas as massas foram dadas a partir de um mesmo padrão</u>” (1B)</i></p> <p><i>“1 (H) : 50 Ferro } 50:13 ≈ 3,85 vezes maior 1 (H) : 13 Enxofre” (2F)</i></p>	<p><i>- 1 átomo de hidrogênio possui 1 g, logo, todos os demais tem suas massas definidas a partir desta referência. Ambas as massas foram dadas a partir de um</i></p>	<p>Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas</p>	<p>1A, 1B, 1E, 2F, 2G, 3C, 4C, 4D</p> <p>(Total = 8)</p>

		<i>mesmo padrão</i>		
	<p>“Como o enxofre possui massa igual a 13, e a massa do ferro igual a 50, encontro a <u>razão entre essas massas da seguinte forma: 50/13</u>, a qual resulta em aproximadamente 3,85. Ou seja, a massa do ferro é aproximadamente 3,85 x maior que a massa do enxofre” (2C)</p> <p>“Enxofre 9Ferro 50 Basta <u>dividir a massa de ferro, pela massa de enxofre</u>, resultando em 5,5. Logo o ferro é 5,5 vezes mais massivo que o enxofre” (3D)</p>	<p>-razão entre essas massas da seguinte forma: 50/13,</p> <p>- dividir a massa de ferro, pela massa de enxofre</p>	<p>Somente os dados individuais, de cada componente, são suficientes para resolver o problema</p>	<p>1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2H, 2J, 3A, 3D, 4A, 4B, 4E, 5A, 5B</p> <p>(Total = 14)</p>
	<p>“Tomando o Hidrogênio como padrão a massas relativas, supõe-se que a massa de ferro...” (3B)</p> <p>“O enxofre é treze vezes maior que a massa do hidrogênio, pois utilizando a massa de H como padrão a massa do enxofre é treze vezes maior” (5D)</p>		<p>Indeterminado</p>	<p>2B, 2D, 3B, 5D</p> <p>(Total = 4)</p>
<p>S04 – 03 Considerando as massas relativas de Dalton, suponha que por meio de uma análise experimental, um composto é formado por 26, 3% de azoto e 73,7% de oxigênio. Represente a fórmula desse composto e explique a lógica adotada para determinação da fórmula.</p>	<p>“ Se 5 é a massa atômica relativa de azoto e 7 de oxigênio, dividimos os percentuais por suas massas respectivamente encontrando a quantidade de elementos para cada percentual: 26,3%/5 ; 73,7%/7 = (símbolo azoto) 5,32 (símbolo oxigênio) 10,5, agora simplificando temos: (símbolo azoto)1 (símbolo oxigênio)2, logo a relação é 1:2” (1D)</p> <p>“O nitrogênio, de acordo com a tabela, tem massa 5, enquanto o oxigênio tem massa 7, em 100g do composto haverá 26,3g de nitrogênio e 73,7g de oxigênio, sendo assim, em 100g, haverá, aproximadamente, 5,25 nitrogênios e 10,50 oxigênio, ou seja, 1 nitrogênio para cada 2 oxigênio, então a fórmula será (ver representação) ou NO₂” (5B)</p>		<p>Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas</p>	<p>1D, 1I, 3A, 3B, 3D, 4A, 4C, 4E, 5A, 5B</p> <p>(Total = 10)</p>
	<p>“5 azoto + 1 oxigênio → 1 azoto/oxigênio</p> <p>5 (símbolo azoto) + 1 (símbolo oxigênio) → 1 (símbolo azoto junto com oxigênio)</p> <p>Considerando essa porcentagem em massa, 26,3% corresponde a aproximadamente 5 azotos. Já, para o</p>		<p>Somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição</p>	<p>1A,1B, 2A, 2C, 2F, 3C</p> <p>(Total = 6)</p>

	<p>oxigênio, 73,7% corresponde, aproximadamente a 1 oxigênio" (2C)</p> <p>"Massa → 5:7 Composto → 26,3:73,7 Oxigênio aproximadamente 2,8 vezes a mais" (2F)</p>			
	<p>"Neste caso em 100% tem-se 5g de azoto e em 26,3% tem-se 1,3 g. E em 100% tem-se 7 g de oxigênio em 73,7% tem-se 5,16g. Assim a fórmula da substância seria (NO₄)" (2B)</p> <p>"Se o azoto reagir com o oxigênio segundo a teoria de Dalton, respeitando uma proporção, a massa final do composto será 12g, o que equivale a 100%. Dessa forma 26,3% desse total corresponde à massa do azoto, 3,156g e a diferença entre eles equivale à massa do oxigênio, 8,884g. O composto possui, então, fórmula NO" (2D)</p>		<p>Somente os dados individuais, de cada componente, são suficientes para resolver o problema</p>	<p>2B, 2D, 4D (Total = 3)</p>
	<p>"N + O" (2J)</p> <p>"26,3% azoto (N) 73,7% oxigênio NO₂ m = 5 m=7" (5D)</p>		<p>Indeterminado</p>	<p>2H, 2J, 5D (Total = 3)</p>
			<p>Não expressou</p>	<p>1C, 1E, 2G, 4B (Total = 4)</p>
MASSA MOLAR E SUA RELAÇÃO COM NÚMEROS FINITOS				
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos
<p>AP – 01 (d) Considere que tenhamos a mesma massa de todos os símbolos acima destacadas. Elas possuem a mesma quantidade de substância? Explique.</p>	<p>"Não, pois <u>cada átomo possui sua massa atômica</u>. Logo em <u>18g de H₂O</u> temos <u>6x10²³ moléculas de H₂O</u>, já em <u>18g de HCl</u> temos a metade" (1D)</p> <p>"Se todos tiverem a mesma massa, a quantidade de substância será a mesma, o que será diferente será a quantidade de matéria, que está ligada a massa molar de cada caso representado" (5A)</p>	<p>- cada átomo possui sua massa atômica 18g de H₂O temos 6x10²³ moléculas de H₂O 18g de HCl temos a metade</p>	<p>Existe relação entre massa padrão, a massa experimental e a quantidade de partículas</p>	<p>1A, 1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2F, 2G, 2H, 3C, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D (Total = 18)</p>
	<p>"Sim, <u>se forma a mesma massa para todos</u>, logo a capacidade molar será a mesma" (3B)</p>	<p>se forma a mesma massa</p>	<p>As massas das partículas são</p>	<p>3B (Total = 1)</p>

		<i>para todos</i>	iguais	
	<p>“Sim. São as <u>mesmas substâncias porém em estados diferentes</u>” (2B)</p> <p>“Não, pois cada átomo possui uma massa e um volume próprio, portanto a mesma quantidade em massa de uma composto, implica um volume diferente se comparado a compostos diferentes” (2D)</p>	<p>- mesmas substâncias porém em estados diferentes</p> <p>- mesma quantidade em massa de uma composto, implica um volume diferente</p>	<p>Somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição</p>	<p>1B, 2B, 2D, 3A</p> <p>(Total = 4)</p>
	<p>“Não. A composição atômica de cada par de símbolos são diferentes entre si” (3D)</p>		<p>Indeterminado</p>	<p>3D</p> <p>(Total = 1)</p>
			<p>Não expressou</p>	<p>2E, 4B</p> <p>(Total = 2)</p>
<p>S05b - 07 (a)1 átomo de carbono 12, tem massa equivalente a 12 g.</p>	<p>“Falsa. Carbono 12 massa = 12g ou seja 1 mol 12g não uma átomo <u>para achar a massa de 1 carbono você divide 12g por 6.10^{23} que é o número de moléculas existentes em 1 mol de qualquer elemento químico</u>” (1A)</p> <p>“Falso, um único átomo de carbono tem uma massa muito pequena. <u>12g de carbono 12 corresponde a uma quantidade muito grande de átomos</u>” (4D)</p>	<p>- <u>para achar a massa de 1 carbono você divide 12g por 6.10^{23} que é o número de moléculas existentes em 1 mol</u></p> <p>- 12g de carbono 12 corresponde a uma quantidade muito grande de átomos</p>	<p>Existe relação entre massa padrão, a massa experimental e a quantidade de partículas</p>	<p>1A, 1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2D, 3C, 3D, 4D, 5B, 5D</p> <p>(Total = 12)</p>
	<p>“Verdadeiro, pois para o carbono 12 tenho 0,012kg que equivale a 12 gramas” (1E)</p> <p>“Verdadeiro. <u>1 átomo de carbono 12 equivale a 1 mol</u> ou seja a quantidade de matéria presente em 1 átomo de carbono, assim a cada 1 átomo de carbono 12 equivale a 12g, o qual é</p>	<p>- o carbono 12 tenho 0,012kg</p> <p>- 1 átomo de carbono 12 equivale a 1 mol</p>	<p>A massa molar corresponde a massa de uma partícula</p>	<p>1B, 1E, 2B, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 4B, 4C, 4E, 5C</p> <p>(Total = 12)</p>

	<p><i>a massa presente nesta quantidade de matéria” (2B)</i></p> <p><i>“Falso” (2J)</i></p> <p><i>“Falso. Assim como o Hidrogênio foi considerado “padrão” hoje tomamos o Carbono para o mesmo fim. Acredito que esta massa foi estabelecida como um padrão, para calcular os demais elementos” (3B)</i></p>			<p>Indeterminado</p> <p>2J, 3B, 5A (Total = 3)</p>
<p>S06 - 02 Você considera que a proporção seria a mesma se considerássemos suas massas ao invés da quantidade de matéria. Por quê?</p>	<p><i>“Não. <u>A massa molar das duas substâncias são diferentes, e considerando a proporção 1:1 de quantidade de matéria, não seria possível manter proporções” (2F)</u></i></p> <p><i>“<u>Não, pois a massa do ác. tartárico que reage é muito maior quando comparada a do NaOH. Logo a massa de ác. tartárico não seria o dobro da massa de NaOH” (4D)</u></i></p>	<p><i>- A massa molar é diferente e <u>proporção 1:1</u> de quantidade de matéria</i></p> <p><i>- Não, pois a massa do ác. tartárico que reage é muito maior quando comparada a do NaOH</i></p>	<p>Existe relação entre massa padrão, a massa experimental e a quantidade de partículas</p>	<p>1E, 1I, 2C, 2E, 2F, 2G, 3B, 3C, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E (Total = 13)</p>
	<p><i>“Sim, pois <u>se as massas forem estiverem proporcionais a relação é válida” (1A)</u></i></p> <p><i>“Sim, pois <u>não importa se considerará a massa, o volume ou outra medida, a proporção sempre será 2:1, isso se deve ao fato que a quantidade de grupos reagentes será sempre a mesma, não havendo diferença em termos de considerar uma característica ou outra” (5B)</u></i></p>	<p><i>- se as massas forem estiverem proporcionais a relação é válida</i></p> <p><i>-pois não importa se considerará a massa a proporção sempre será 2:1</i></p>	<p>As massas das partículas são iguais</p>	<p>1A, 1B, 1C, 1D, 5B, 5C, 5D (Total = 7)</p>
	<p><i>“<u>Depende da quantidade de massa da base e de ácido, sendo assim a massa é proporcional, ou seja, se for colocado uma quantidade de ácido e outra de base e se dobrar a quantidade de ácido será dobrado a quantidade de base” (2A)</u></i></p> <p><i>“Sim, pois há uma relação de proporção entre os reagentes, na qual uma <u>determinada massa reage com uma certa</u></i></p>	<p><i>- Depende da quantidade de massa da base e de ácido</i></p> <p><i>- determinada massa reage com uma certa</i></p>	<p>Somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição</p>	<p>2A, 2D, 3A (Total = 3)</p>

	<i>quantidade de massa de outro composto” (2D)</i>	<i>quantidade de massa de outro composto</i>		
	<p><i>“MM NaOH = 23+16+1 = 40g MMácido = 150g/mol Sim. Pois a massa molar do ácido é quase 4x igual ao da base 150/4 = 38 (2B)”</i></p> <p><i>“Sim, pois é necessário 3,75 vezes de NaOH para reagir com o ácido tartárico, ou seja, a proporção de quantidade de matéria e quantidade de massa permanece a mesma” (4B)</i></p>		Indeterminado	2B, 2H, 4B, 5A (Total = 4)
S06 - 03 Explique como é possível determinar a massa de ácido tartárico contido na amostra de vinho (20mL).	<p><i>“Primeiro determina-se a <u>quantidade de matéria de NaOH no volume titulante</u>. Se em 1L tenho 0,10 mol, em 0,0134L tenho 0,00134mol de NaOH. Sabendo que a <u>proporção da reação é de 1:1</u>, 0,00134 mol de ácido é a quantidade da substância (em matéria) contido na amostra de vinho. Usando a <u>relação g/mol (massa molar)</u>, é possível determinar a massa de ácido na amostra” (2C)</i></p> <p><i>“Conhecendo a concentração real da base e o volume exato utilizado para neutralizar o ácido pode-se determinar a quantidade de matéria de base e pela relação estequiométrica da reação, pode-se dizer a quantidade de matéria da base é o dobro do ácido, multiplicando esse valor encontrado pela massa molar do ácido tartárico, tem-se a massa contida nos 20mL” (3D)</i></p>	<p><i>- quantidade de matéria de NaOH no volume titulante. Sabendo que a proporção da reação Usando a relação g/mol (massa molar),</i></p>	Existe relação entre massa padrão, a massa experimental e a quantidade de partículas	2C, 3C, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B (Total = 9)
	<p><i>“Uma vez descoberta a porcentagem do sólido na amostra de vinho, basta <u>realizar uma relação entre o grau de pureza de ácido e o que foi dele utilizado</u>” (1D)</i></p> <p><i>“É possível determinar a massa de ácido tartárico através do experimento de titulação. Com o volume da alíquota, as proporções e a quantidade de NaOH utilizado, <u>é possível fazer relações entre estes valores para se determinar a massa do ácido</u>” (4B)</i></p>	<p><i>- realizar uma relação entre o grau de pureza de ácido e o que foi dele utilizado</i></p> <p><i>- Com o volume da alíquota é possível fazer relações entre estes valores para se</i></p>	Somente os dados experimentais são suficientes para determinar a composição	1D, 2A, 2D, 4B, 5D (Total = 5)

		determinar a massa do ácido		
	<p><i>"Sabendo a massa molar, o volume, e a concentração</i> $C = m/MM.V = 0,1 = m/150.0,002L$ $m = 0,3g$ do ácido. Assim consegue-se chegar quantos gramas do ácido" (1E)</p> <p><i>"Para se determinar a massa é necessário encontrar o número de mols através da massa molar e calcular para o volume de 20mL. Pois conheço a concentração do NaOH.</i> $C = m/v$" (3B)</p>	<p>- Sabendo a massa molar, o volume, e a concentração</p> <p>- encontrar o número de mols através da massa molar e calcular para o volume de 20mL.</p>	<p>Existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais não é direta</p>	<p>1A, 1E, 2B, 2E, 2F, 3B, 5C</p> <p>(Total = 7)</p>
	<p><i>"Primeiramente com uma relação mol-litro, e depois mol-g" (1B)</i></p> <p><i>"Primeiramente calculamos a concentração da solução de ácido tartárico, na sequência é possível calcular o número de mols, a partir destes valores, podemos determinar a massa do titulado utilizando o volume da base titulada, esses cálculos seriam para 1L da solução, então para achar a massa presente em 20mL usaremos uma regra de três.</i> $C = n/v$ $n = m/MM$"(3A)</p>		<p>Indeterminado</p>	<p>1B, 1C, 2H, 3A</p> <p>(Total = 4)</p>
			<p>Não expressou</p>	<p>1I, 2G</p> <p>(Total = 2)</p>

APÊNDICE K – Categorização das repostas quanto ao mol e a constante de Avogadro

MOL COMO UNIDADE DE MEDIDA					
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos	
AP – 03 Explique o que significa mol. Que relação existe entre 1 mol de água e 1 mol de ferro?	<p><i>“Mol é uma unidade de medida, que determina a quantidade de matéria” (3A)</i></p> <p><i>“Mol é uma unidade padrão para a quantidade de matéria” (4C)</i></p>	<i>Mol é uma unidade de medida</i>	O mol é uma unidade de medida	3A, 4C, 4E, 5B (Total = 4)	
	<p><i>“Mol é um fator de conversão em que se relaciona a proporção de um composto com sua massa e o número de entidades nessa amostra” (2D)</i></p> <p><i>“Mol é uma quantidade. Um número que pode ser usado como um fator de conversão de massa atômica. A quantidade de massa de um átomo no nosso sistema de unidade seria algo muito pequeno, na escala de 10^{-23}” (3D)</i></p>	<i>- Mol é um fator de conversão</i>	Relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol	2D, 3D, 5A (Total = 3)	
	<i>“É o número de massa mola”r (2A)</i>	<i>-número de massa molar</i>	O mol é a massa molar	2A (Total = 1)	
	<p><i>“Não consigo expressar em palavras, mas é como se fosse um número, uma certa quantidade” (1B)</i></p> <p><i>“Mol representa quantidade de matéria, equivale ao valor de $6,02 \times 10^{23}$” (4D)</i></p>	<p><i>- um número, uma certa quantidade</i></p> <p><i>- , equivale ao valor de $6,02 \times 10^{23}$</i></p>	O mol é um número definido de partículas	1A, 1B, 1C, 1D, 1I, 2B, 2C, 2E, 2F, 2G, 3B, 3C, 4A, 4B, 4D, 5C, 5D (Total = 17)	
				Não expressou	2H (Total = 1)
S05b – 07(d)O mol é a massa molar em gramas.	<p><i>“Falsa. O mol é uma unidade de medida de matéria” (4E)</i></p> <p><i>“Falso. Em 1 mol contém a massa molar em gramas, mas o mol é a unidade de quantidade de substância, não de massa” (5B)</i></p>	<i>- O mol é uma unidade de medida</i>	O mol é uma unidade de medida	1C, 4E, 5B (Total = 3)	

	<p>“Falso, é possível fazer uma <u>relação entre mol e a massa molar do composto</u>, e assim identificar a quantidade de moléculas presentes no composto, representado em número de mols” (3A)</p> <p>“Falso. A afirmação correta seria: “<u>o mol é a relação com a massa atômica/molecular em gramas</u>”, pois massa molar é expressa em gramas por mol, já é o n° que ele representa a relação mol-massa” (5A)</p>	<p>- relação entre mol e a massa molar do composto</p> <p>- o mol é a relação com a massa atômica/molecular em gramas</p>	<p>Relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol</p>	<p>2D, 3A, 5A</p> <p>(Total = 3)</p>
	<p>“Verdadeiro. Exemplo genérico.</p> <p>A massa molar da água é 18g/mol; O = 16 H = 1</p> <p>1mol - 18g Vamos supor que eu tenho 44g de água quantos mols eu obteria: pela proporção eu teria 1mol - 18g</p> <p>x - 44g x = 2,44 mol de água” (1A)</p> <p>“Verdadeiro. Considerando a H₂O como exemplo e olhando as massas molares de cada átomo vemos que o H = 1g/mol e que o O = 16g/mol, ou seja, a cada mol de cada substância têm-se 1 e 16g respectivamente” (4B)</p>	<p>- massa molar da água é 18g/mol</p>	<p>O mol é a massa molar</p>	<p>1A, 1I, 2A, 2B, 2E, 2F, 2G, 2H, 2J, 3B, 3C, 4B, 5C, 5D</p> <p>(Total = 14)</p>
	<p>“Falso. Mol é um número cujo valor <u>está relacionado a número de entidades</u>, no entanto, medimos o mol em gramas” (1D)</p> <p>“Falsa, <u>o mol é um valor constante</u>, esse valor é o mesmo independente da entidade que ele representa já a massa varia para cada substância” (4D)</p>	<p>- está relacionado a número de entidades</p> <p>- o mol é um valor constante</p>	<p>O mol é um número definido de partículas</p>	<p>1D, 1E, 2C, 4D</p> <p>(Total = 4)</p>
	<p>“Falsa” (1B)</p> <p>“F. Massa molar é a massa de 6,02x10²³ unidades da substância” (3D)</p>		<p>Indeterminado</p>	<p>1B, 3D, 4C</p> <p>(Total = 3)</p>
<p>S05b – 07(e)O mol é a unidade de quantidade de substância.</p>	<p>“Verdadeiro. No sistema internacional <u>o mol é a unidade para a quantidade de substância</u>” (2G)</p> <p>“Verdadeiro. O Mol é a <u>unidade de medida para a quantidade de matéria</u> cujo seja partículas muito pequenas” (4E)</p>	<p>- o mol é a unidade para a quantidade de substância</p>	<p>O mol é uma unidade de medida</p>	<p>2G, 3A, 4C, 4E, 5B</p> <p>(Total = 5)</p>
	<p>“Verdadeiro. Como já especificado acima, <u>o mol representa a</u></p>	<p>- o mol</p>	<p>Relações entre</p>	<p>2D, 2F, 3B, 3C</p>

	<p><u>quantidade de moléculas presente em uma certa quantidade em gramas</u>” (3B)</p> <p>“Falso, pois na verdade, ele é utilizado para <u>relacionar um agrupamento de entidades com um determinado número delas</u>” (2D)</p>	<p>representa a quantidade de moléculas presente em uma certa quantidade em gramas</p> <p>- relacionar um agrupamento de entidades com um determinado número delas</p>	<p>macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol</p>	<p>(Total = 4)</p>
	<p>“Falso. <u>O mol representa a massa molar em gramas da substância e não a quantidade da substância em si</u>” (2J)</p> <p>“Verdadeiro, o mol é utilizado para <u>representar a quantidade de matéria contida em 12g de carbono 12</u>” (4D)</p>	<p>- O mol representa a massa molar em gramas</p> <p>- representar a quantidade de matéria contida em 12g de carbono 12</p>	<p>O mol é a massa molar</p>	<p>1I, 2J, 4D</p> <p>(Total = 3)</p>
	<p>“Verdadeiro. <u>É quanto daquela substância tem em 1 mol ($6 \cdot 10^{23}$ moléculas)</u>” (1C)</p> <p>“Verdadeira, um mol é a quantidade de milhares de átomos e moléculas que formam uma quantidade de substância” (2A)</p>	<p>- É quanto daquela substância tem em 1 mol ($6 \cdot 10^{23}$ moléculas)</p> <p>- um mol é a quantidade de milhares de átomos e moléculas</p>	<p>O mol é um número definido de partículas</p>	<p>1C, 1E, 2A, 2C, 2E, 3D, 5A, 5C, 5D</p> <p>(Total = 9)</p>
	<p>“Verdadeiro. Ele quantitativa a matéria ou substância em número de mol ou em g se for relacionado com a massa molecular” (1A)</p>		<p>Indeterminado</p>	<p>1A, 1B, 1D, 2B, 2H, 4B</p> <p>(Total = 6)</p>

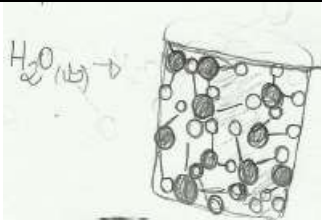
<i>“Verdadeiro” (2A)</i>				
S05b – 07(f) Mol é a massa (em gramas) numericamente igual a massa molecular relativa de uma substância.	<i>“Falso pela alternativa acima. A não ser se for a <u>relação de quantos gramas da molécula tem nesse 1 mol, ai sim</u>” (1C)</i>	<i>- relação de quantos gramas da molécula tem nesse 1 mol</i>	O mol é uma unidade de medida	1C (Total = 1)
	<i>“Falso pois mol não é medido em gramas, mas ele quantitativa a <u>substância relacionando sua massa com o número de moléculas</u>” (1A)</i> <i>“Verdadeiro, como representa o conjunto de quantidades dessa substância é representada por gramas” (5A)</i>	<i>- substância relacionando sua massa com o número de moléculas</i>	Relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol	1A, 2D, 2F, 3A, 3B, 3D, 4E, 5A, 5B, (Total = 9)
	<i>“Correto. Um átomo de Na possui massa molecular de 23u, 1 mol de Na possui 23g” (1D)</i> <i>“Falso. Mol pode ser também <u>massa molecular de dada substância</u>” (2B)</i>	<i>- Na possui massa molecular de 23u, 1 mol de Na possui 23g</i> <i>- massa molecular de dada substância</i>	O mol é a massa molar	1D, 1E, 2A, 2B, 2H, 4C, 5C, 5D (Total = 8)
	<i>“Falso. Mol não é a medida de massa, e, sim de unidades. Massa molecular é a massa referente a uma molécula de uma determinada substância” (2C)</i> <i>“Falsa, mol não equivale a um valor em massa, não é uma medida, mas sim uma grandeza ou um valor que representa uma quantidade” (4D)</i>	<i>- Mol não é a medida de massa, e, sim de unidades</i> <i>- uma grandeza ou um valor que representa uma quantidade</i>	O mol é um número definido de partículas	2C, 4D (Total = 2)
	<i>“Verdadeiro?” (2G)</i> <i>“Falso” (2J)</i>		Indeterminado	1B, 2E, 2G, 2J, 3C (Total = 5)
			Não expressou	1I, 4B (Total = 2)
MOL E A CONSTANTE DE AVOGADRO: RELAÇÕES ENTRE O MACRO E AS PARTÍCULAS				
AP – 01 (d) Considere que	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos

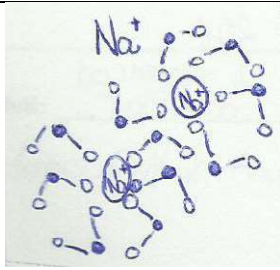
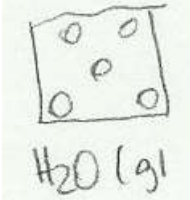
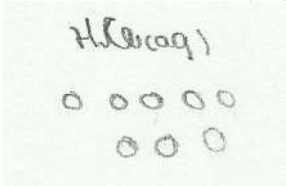

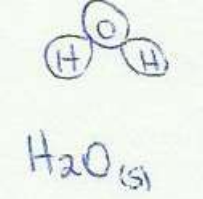

				alunos
tenhamos a mesma massa de todos os símbolos acima destacadas. Elas possuem a mesma quantidade de substância? Explique.	“Não, porque cada símbolo possui uma relação entre g e mol (quantidade de matéria) diferentes. Por exemplo HCl terá uma massa molar de 36,5g/mol já a H ₂ O possui massa molar 18g/mol. Sabe-se que <u>mol é a unidade de medida para a quantidade de matéria no qual um mol equivale 6,02x10²³</u> ” (4E)	- mol é a unidade de medida	O mol é uma unidade de medida	4E (Total = 1)
	“Não, pois cada átomo possui sua massa atômica. Logo em 18g de H ₂ O temos 6x10 ²³ moléculas de H ₂ O, já em 18g de HCl temos a metade” (1D) “Não. Cada elemento tem a sua respectiva massa. Se a massa de todos os símbolos são iguais com átomos diferentes, a quantidade de substância será diferente para que numa proporção, todos tenham a mesma massa” (2F)	- 18g de H ₂ O temos 6x10 ²³ moléculas de H ₂ O	Relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol	1A, 1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2F, 2G, 2H, 3D, 4A, 4C, 4D, 5A, 5B, 5C, 5D (Total = 17)
	“Não, pois cada átomo possui uma massa e um volume próprio, portanto a mesma quantidade em massa de uma composto, implica um volume diferente se comparado a compostos diferentes” (1B) “Sim, se forma a mesma massa para todos, logo a capacidade molar será a mesma” (3B)		Indeterminado	1B, 2B, 2D, 3A, 3B, 3C (Total = 6)
			Não Expressou	2E, 4B (Total = 2)
AP – 03 Explique o que significa mol. Que relação existe entre 1 mol de água e 1 mol de ferro?	“A relação é que água e ferro apresentam massas diferentes, então para obter o <u>número 1 mol de cada serão necessárias quantidades diferentes de cada 1 para atingir 1 mol de moléculas</u> ” (5C)	- número 1 mol de cada serão necessárias quantidades diferentes de cada 1	Relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol	5C (Total = 1)
	“São diferentes pois depende da massa, <u>a massa da água ≠ massa de Fe ≠ sua quantidade em mols será diferente</u> ” (3B)	- a massa da água ≠ massa de Fe	O mol é a massa molar	3B (Total = 1)
	“Ambos tem a <u>mesma quantidade de moléculas</u> ” (1I) “A relação entre 1 mol de água e 1 mol de ferro é que <u>ambos haverão 6,2x10²³ unidades, no caso da água, moléculas, no</u>	- mesma quantidade de moléculas	O mol é um número definido de partículas	1A, 1D, 1I, 2B, 2C, 2F, 2G, 3B, 3C, 3D,



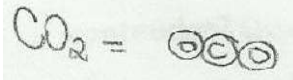
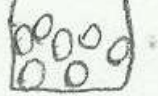

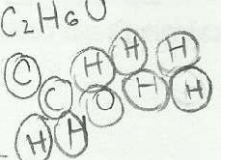
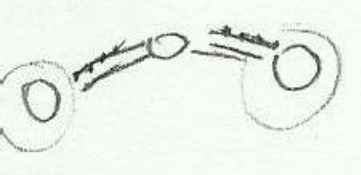
	caso do ferro átomos” (5B)	- ambos haverão 6,2x10 ²³ unidades		4A, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D (Total = 16)
	“1 um mol de água irá ter a mesma quantidade que um mol de ferro” (2A) “A relação entre um mol de água e de ferro é quem tem o mesmo número de mols, mas difere na densidade” (2E)		Indeterminado	1B, 1C, 2A, 2D, 2E, 2H, 3A, 4B, 4C (Total = 9)
S05b – 07 (b) Se em uma reação tem-se como produto um mol de gás carbônico (CO ₂), podemos afirmar que uma molécula desse gás foi formada.	“Verdade. Vamos fazer uma reação genérica só para ilustrar. $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ Foi formado 1 mol de CO ₂ a partir desta reação, foram formadas 6,02.10 ²³ moléculas de CO ₂ e não apenas uma” (1A) “Falsa. Considerando-se que na produção de um mol de gás existem, tantas entidades quanto em 0,012kg de carbono 12. Dessa forma, <u>várias moléculas de gás foram formadas, e não apenas uma como sugere o enunciado</u> ” (2D)	- foram formadas 6,02.10 ²³ moléculas de CO ₂ e não apenas uma - várias moléculas de gás foram formadas, e não apenas uma como sugere o enunciado	Relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol	1A, 1C, 1D, 1E, 2A, 2C, 2D, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D (Total = 19)
	“Sim, pois <u>um mol equivale a uma molécula</u> . 1mol - 6,02.10 ²³ moléculas” (1I) “Verdadeira. Pois na reação de C e O ₂ têm-se o produto final que é o CO ₂ , dando a proporção de 1:1, logo temos <u>um mol de CO₂ que equivale a uma molécula desse gás</u> ” (4B)	- um mol equivale a uma molécula - um mol de CO ₂ que equivale a uma molécula	O mol é um número definido de partículas	1I, 2B, 2E, 4B, 5C (Total = 5)
	“Verdadeira” (1B) “V” (2F)		Indeterminado	1B, 2F, 2J (Total = 3)
S05b – 07 (c) O mol é a constante de Avogadro em átomos, moléculas, íons, etc.	“Falsa. O mol é uma forma <u>de relacionar uma quantidade em massa de um material com um determinado número de entidades</u> . Já a constante é uma relação entre a quantidade de entidades em uma determinada massa” (2D) “Falso. A constante de Avogadro representa a <u>quantidade de moléculas presentes em um mol</u> ” (4B)	- de relacionar uma quantidade em massa com um determinado número de entidades - quantidade de moléculas	Relações entre macro e o atômico podem ser estabelecidas com o uso do mol	2D, 3D, 4B (Total = 3)

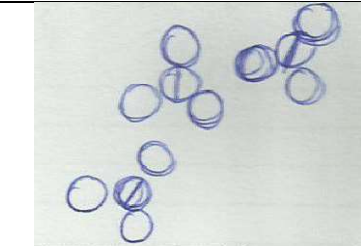
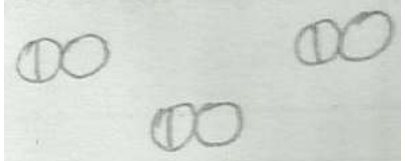
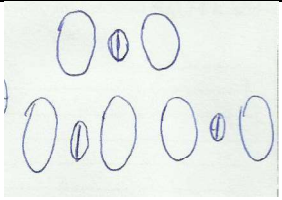
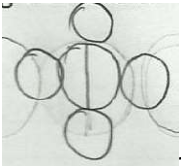
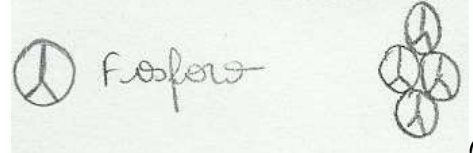

		<i>presentes em um mol</i>		
	<p><i>“Verdadeiro. Segundo a definição da IUPAC, em um mol, tem-se a <u>quantidade de matéria de um sistema que contém "entidades elementares"</u>” (2C)</i></p> <p><i>“Verdadeiro. <u>A quantidade de átomos em 0,012kg de carbono 12 é equivalente ao número de Avogadro</u>” (5B)</i></p>	<p><i>- quantidade de matéria de um sistema que contém "entidades elementares</i></p> <p><i>- A quantidade de átomos em 0,012kg de carbono 12 é equivalente ao número de Avogadro</i></p>	<p>O mol é um número definido de partículas</p>	<p>1A, 1C, 1D, 1E, 2A, 2C, 2E, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 4D, 5A, 5B, 5D (Total = 16)</p>
	<p><i>“Falsa” (2B)</i></p> <p><i>“Sim, pois quando realizamos as conversões chegamos em um mesmo sistema de unidades, porém representadas de formas diferentes” (5C)</i></p>		<p>Indeterminado</p>	<p>1B, 2B, 2F, 2J, 4C, 5C (Total = 6)</p>
			<p>Não expressou</p>	<p>1I, 4E (Total = 2)</p>

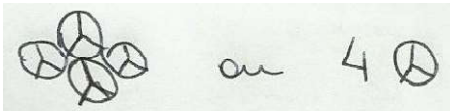
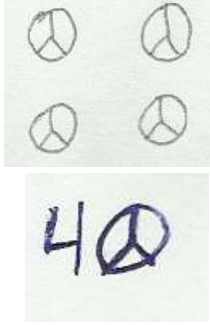
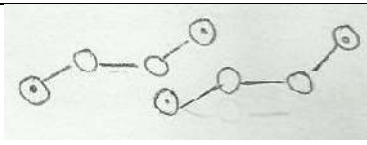

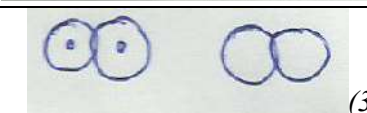
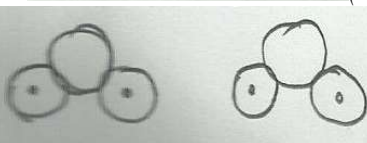
APÊNDICE L – Categorização das repostas quanto aos símbolos


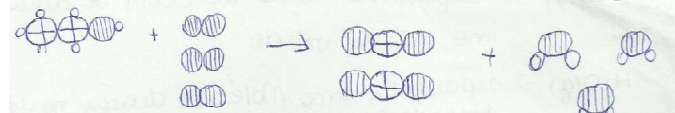
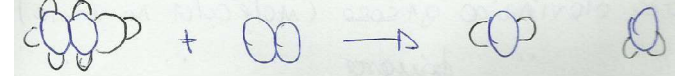

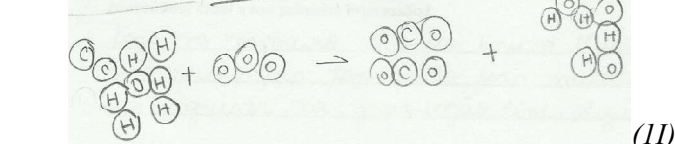
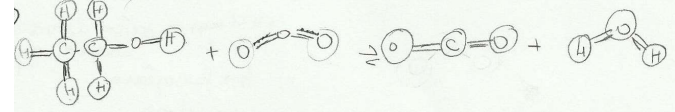
SÍMBOLOS EM FÓRMULAS QUÍMICAS				
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos
<p>AP – 01(a) Explique o que cada símbolo representa.</p>	<p>“<u>Água em estado sólido</u>; água em estado gasoso; sódio; <u>ion sódio em meio aquoso</u>; ácido clorídrico em meio aquoso” (1A) “Cada símbolo representa uma substância e seu estado físico; água no estado sólido; água no estado gasoso; um elemento da tabela periódica, o sódio; um ion sódio; uma solução de ácido clorídrico” (2A)</p>	- Água em estado sólido	Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa	1A, 1B, 1C, 1D, 1I, 2A, 2B, 2C, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D
	<p>“<u>Água (duas moléculas de Hidrogênio e 1 de Oxigênio) no estado sólido</u>” (1C) “$H_2 = 2$ molécula de hidrogênio” (1I)</p>	- duas moléculas de Hidrogênio e 1 de Oxigênio) no estado sólido	Moléculas e átomos configuram o mesmo tipo de partícula	1C, 1I
	<p>“Representa uma molécula de água no estado sólido; <u>Representa uma molécula de água no estado gasoso</u>; Representa uma molécula de ácido clorídrico no estado gasoso” (4E) “(Na) ânion; cátion; ácido clorídrico gasoso” (3C)</p>	-Representa uma molécula de água	A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta	1A, 1B, 1C, 1D, 2B, 2C, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5C, 5D
	<p>“Os símbolos representam compostos químicos em diferentes estados físicos, em diferentes formas químicas” (2D)</p>		Indeterminado	2D
	<p>AP – 01(b) Represente cada situação acima, supondo cada átomo como uma esfera.</p>	 <p>(2B)</p>		Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa

	 <p>(3A)</p>		
	 <p>H₂O(g) (2E)</p>  <p>H₂O(l) (3C)</p>	<p>Moléculas e átomos configuram o mesmo tipo de partícula</p>	<p>1C, 1D, 2E, 2G, 3C, 4B, 5C</p>
	 <p>-HCl(g) (1B)</p>  <p>H₂O(s) (2G)</p>	<p>A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta</p>	<p>1A, 1B, 1D, 1I, 2B, 2G, 5C,</p>
	 <p>(1C)</p>	<p>Indeterminado</p>	<p>1C, 1D, 3B</p>

	 H_2O (1D)		
		Não expressou	1C
AP – 02 (b) Represente cada molécula acima, supondo cada átomo como uma esfera.	 - Etanol (4A)	Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa	1A, 1B, 1D, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D
	$CO_2 =$  (4C)		
	 Etanol (2E)	Moléculas e átomos configuram o mesmo tipo de partícula	2E, 3C
	 - Etanol (3C)		
	C_2H_6O  (1I)	A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta	1I, 3B, 5C
 - O_2 (5C)			
		Não expressou	1C, 2G, 4B

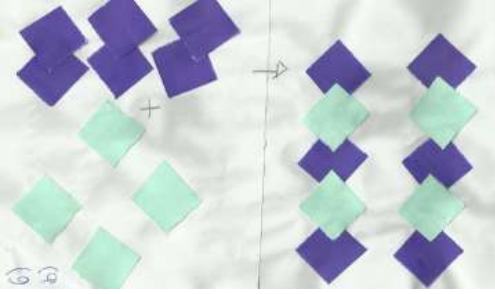
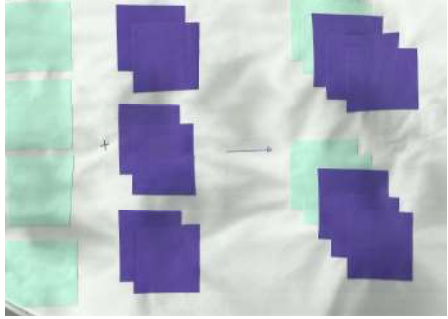
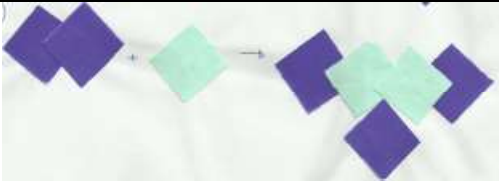
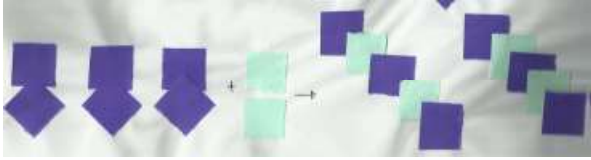
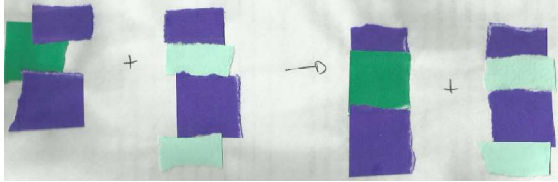
<p>S04 – 04 Considerando o composto acima formado (exercício 3), represente 3 partículas do mesmo utilizando a simbologia de Dalton</p>	 <p>- NO_3 (1B)</p>  <p>- NO (2C)</p>	<p>Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa</p>	<p>1B, 2A, 2C, 2D, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D</p>		
	 <p>- NO_2 (1D)</p>  <p>- NO_4 (2B)</p>			<p>A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta</p>	<p>1A, 1D, 1I, 2B</p>
				<p>Não expressou</p>	
<p>S04 – 05 (a) 1 partícula com 4 átomos de fósforo.</p>	 <p>(1E)</p>  <p>(2F)</p>	<p>Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa</p>	<p>1B, 1E, 2A, 2B, 2D, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5D</p>		

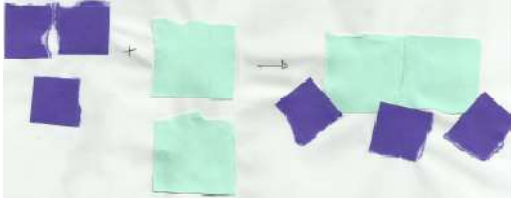
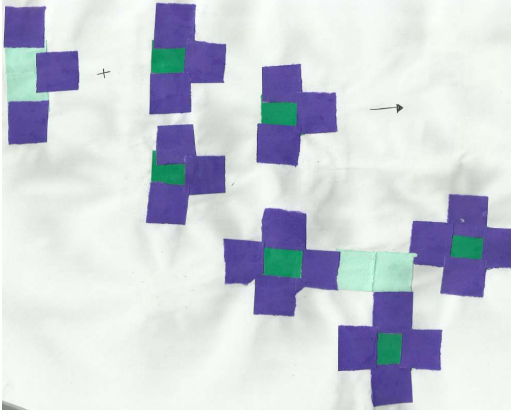
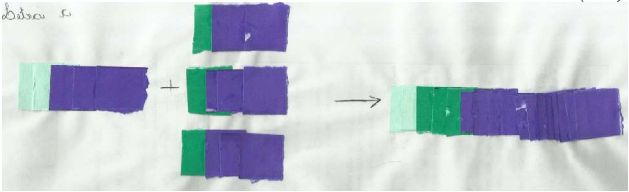
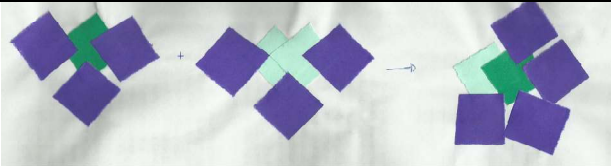
		Moléculas e átomos configuram o mesmo tipo de partícula	1C	
		A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta	1D, 1I, 2C, 3D, 5B	
		Não expressou	1A, 2J	
S04 – 05(b) 2 partículas formadas por 2 átomos de hidrogênio e 2 átomos de oxigênio.		Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa	1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 2F, 2G, 2H, 3C, 4A, 4B, 4C, 5A, 5B, 5D	
				
		A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta	1D, 1E, 1I, 2D, 3A, 3B, 3D, 4D, 4E	
				
			Indeterminado	1A
		Não expressou	2J	
SÍMBOLOS EM EQUAÇÕES QUÍMICAS				
AP – 02(a) Escreva a equação química desta	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos

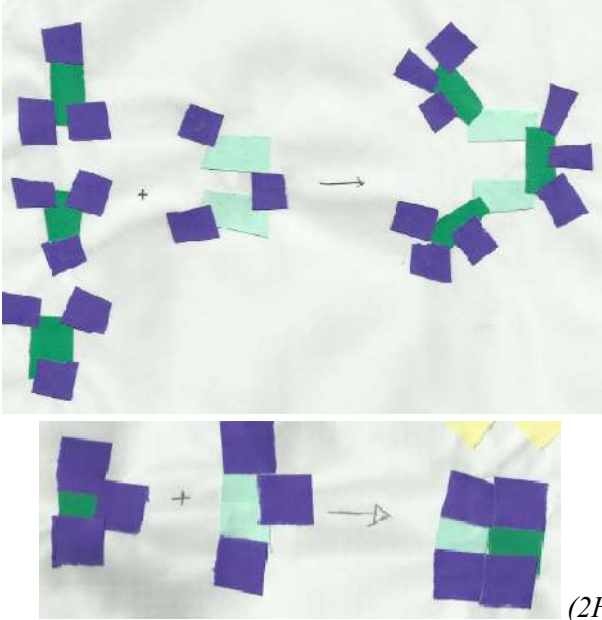
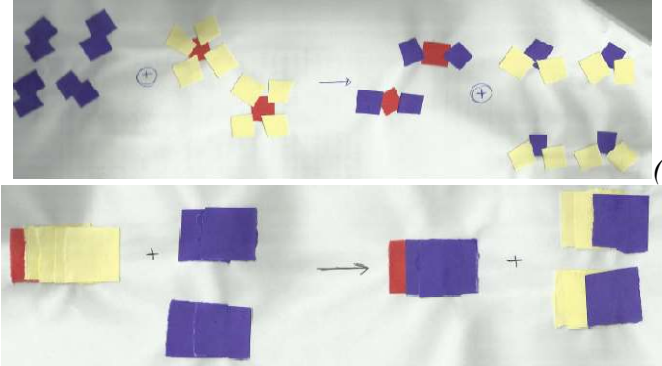
reação.			alunos
	$C_2H_6O + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O \text{ (1C)}$ $C_2H_6O(l) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l) \text{ (4B)}$	Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa	1A, 1C, 1D, 1I, 2A, 2C, 2D, 2G, 3A, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D
	$C_2H_6O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O \text{ (1B)}$ $C_2H_6O + O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O \text{ (2E)}$	Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química	1B, 2B, 2E, 2F, 2H, 3E
<p>AP – 02 (c) Usando as representações das moléculas criadas acima, escreva a reação de combustão do etanol.</p>	 <p>(2A)</p>  <p>(4E)</p>	Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa	2A, 2C, 2D, 3A, 4A, 4C, 4E, 5A, 5B, 5D
	 <p>(1D)</p>  <p>(3D)</p>	Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química	1D, 3B, 2F, 2H, 3B, 3D, 4D
	 <p>(1I)</p>  <p>(5C)</p>	A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta	1I, 2E, 3C, 5C
	<p>“Me lembro vagamente, mas não sei representar” (1B)</p>	Indeterminado	1B, 4B

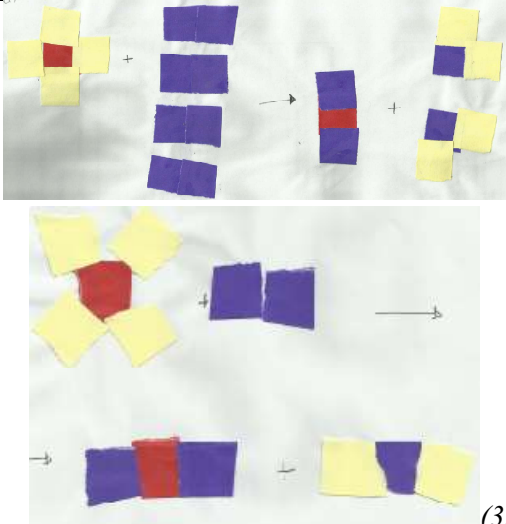
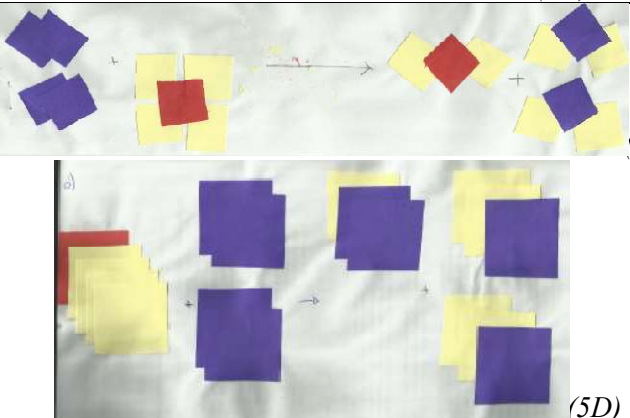
	$C_2H_6O_{(l)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(re)}$ (4B)		
		Não expressou	1A, 1C, 2G
<p>S01 – 07 Indique algum ácido e base que poderia ser usado como exemplo nesse experimento. Se possível forneça a reação entre eles.</p>	<p>“HCl + NaOH → H₂O + NaCl” (3A) “HI (aq) + NaOH (aq) → NaI (aq) + H₂O” (l) (2D)</p>	Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa	1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D
	<p>“Ácido Clorídrico, Ácido Oxálico, NaOH” (2J) “Ácido Oxálico e Hidróxido de Sódio” (2E)</p>	Indeterminado	2E, 2J
<p>S01 – 06 Indique algum ácido e base que poderia ser usado como exemplo nesse experimento. Forneça a reação entre eles</p>	<p>“H₂SO₄ + 2NaOH → Na₂SO₄ + 2H₂O” (1A) “H₂SO₄ + 2NaOH → Na₂SO₄ + 2H₂O” (5A)</p>	Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa	1A, 1E, 2D, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C, 4D, 5A, 5D
	<p>“H₂SO₄ + 2NaOH → Na₂SO₄ + H₂O” (4E) “H₂SO₄ + NaOH. A relação é de 2:1” (5B)</p>	Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química	1B, 1D, 2C, 2G, 4E, 5B
	<p>“H₂SO₄ + NaOH → NaSO₄⁻ + H₃O⁺” (2B) “H₂SO₄ + 2NaOH → 2H₂O + NaSO₄” (2H)</p>	A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta	2A, 2B, 2H
	<p>“Ácido Oxálico + Hidróxido de Sódio” (2E) “Ácido Sulfúrico, Ácido Oxálico, Ca(OH)₂, NaOH” (2J)</p>	Indeterminado	2E, 2J
		Não expressou	1C, 1I, 2F, 5C

	 <p>(1B)</p> <p>(2H)</p>	<p>Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa</p>	<p>1B, 2A, 2C, 2F, 2H, 2J, 3A, 3C, 4A, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D</p>
<p>S04 – 06 (a) Combinação do gás oxigênio (O₂) com enxofre (S) para formar o trióxido de Enxofre (SO₃)</p>	 <p>(2B)</p> <p>(2G)</p>	<p>Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química</p>	<p>2B, 2G</p>
	 <p>(1A)</p> <p>(3B)</p>	<p>A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta</p>	<p>1A, 1C, 1D, 1E, 1I, 2D, 3B, 3D, 4B, 4C</p>

<p>S04 – 06 (b) Combinação do gás oxigênio (O_2) com ferro (Fe) para formar o óxido de ferro III (Fe_2O_3)</p>	 <p>(4A)</p>	<p>Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa</p>	<p>1B, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D</p>
	 <p>(5D)</p>		
	 <p>(2G)</p>		
	 <p>(2J)</p>	<p>Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química</p>	<p>2G, 2J</p>
	 <p>(1C)</p>	<p>A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta</p>	<p>1A, 1C, 1D, 1E, 1I, 2E, 3B, 3D, 4B</p>

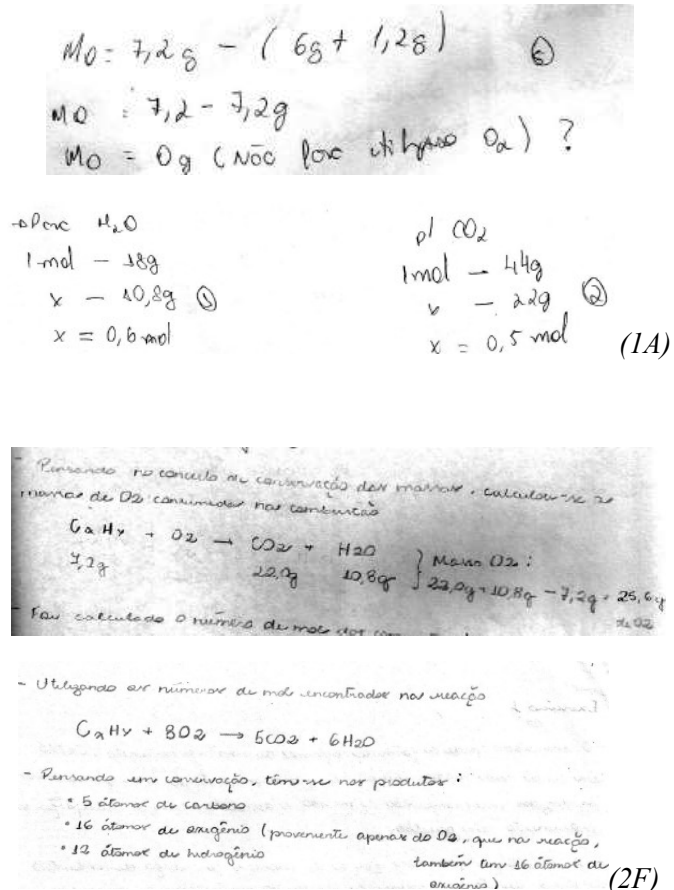
	 <p>(3D)</p>			
<p>S04 – 06 (c) Combinação do produto do item a com o produto do item b</p>	 <p>(2A)</p>  <p>(3C)</p>		<p>Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa</p>	<p>2A, 2B, 2C, 2J, 3A, 3C, 3D, 4A, 4C, 4E, 5A, 5D</p>
	 <p>(2G)</p>		<p>Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química</p>	<p>2G</p>

	 <p>(2D)</p> <p>(2H)</p>	<p>A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta</p>	<p>1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2D, 2H, 3B, 4B, 4D, 5B</p>
		<p>Não expressou</p>	<p>2F</p>
<p>S04 – 06 (d) Combinação do gás oxigênio (O₂) com metano (CH₄) para formar o dióxido de carbono (CO₂) e a água (H₂O)</p>	 <p>(1B)</p> <p>(3C)</p>	<p>Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa</p>	<p>1B, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3C, 4A, 4C, 4E, 5A, 5B</p>

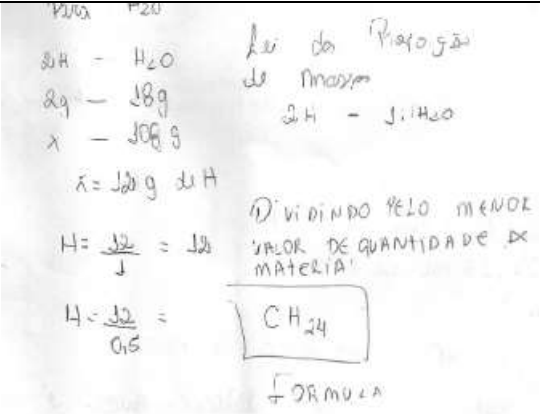
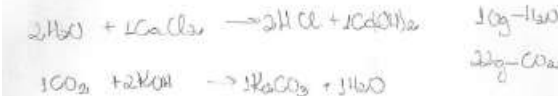
	 <p>(2A)</p> <p>(3D)</p>	<p>Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química</p>	<p>2A, 3B, 3D</p>
	 <p>(3A)</p> <p>(5D)</p>	<p>A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta</p>	<p>1A, 1C, 1D, 1E, 1I, 2G, 3A, 4B, 4D, 5D</p>
		<p>Não expressou</p>	<p>2J</p>
<p>S06 – 01 Considerando o ácido tartárico (HOOCCH(OH)CH(OH)COOH), que é um dos componentes do vinho</p>	<p>“(1:2). Pela estrutura do ácido tartárico, <u>nota-se que há dois hidrogênios ácidos que podem reagir com a base. Assim a proporção de 1 de ácido para 2 equivalentes de base</u>” (3D)</p> <p>“O ácido tartárico possui 2 grupos da função ácido</p>	<p>-nota-se que há dois hidrogênios ácidos que podem reagir com a base. Assim a proporção de 1 de ácido para 2</p>	<p>Existe relação entre o símbolo químico e o que ele representa</p> <p>2D, 3A, 3B, 3D, 4A, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B</p>

branco, e o hidróxido de sódio (NaOH), explique qual a proporção em quantidade de matéria, existente entre essas duas substâncias em uma reação entre eles.	<i>carboxílico enquanto o hidróxido de sódio possui apenas 1 grupo hidroxila, dessa forma, considerando que 1 grupo ácido é neutralizado por 1 grupo básico, então, em uma reação de neutralização, teremos uma proporção de 2NaOH para cada ácido tartárico”</i> (5B)	<i>equivalentes de base</i>		
	<i>“Como foi adicionado 20 mL de vinho, considerando 20 mL do ácido, e para neutralizar foi usado cerca de 10 mL (13,1 mL e 13,4mL) então podemos dizer que a proporção é de 2 ácidos para 1 NaOH”</i> (1C) $C_4H_6O_6 + NaOH \rightarrow C_4H_5O_6^-Na^+ + H_2O$ <i>A proporção é 1:1, pois ao montar a reação podemos perceber que é necessário um mol do ácido e um mol da base para se formar um mol do sal e um mol da água”</i> (5D)	<i>-então podemos dizer que a proporção é de 2 ácidos para 1 NaOH</i>	Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química	1C, 2B, 2C, 2F, 3C, 5D
	<i>“A quantidade de matéria do ácido tartárico é 3,75 vezes maior que a do hidróxido de sódio pois a molécula é maior mais pesada e ocupa volume maior que a do hidróxido de sódio”</i> (1A) <i>“A proporção do ácido tartárico com o hidróxido de sódio é de 1,375, ou seja, o ácido tartárico é 3,75 vezes menos que o hidróxido de sódio”</i> (4B)	<i>-quantidade de matéria do ácido tartárico é 3,75 vezes maior que a do hidróxido de sódio</i>	A relação entre o símbolo e o que ele representa não é direta	1A, 1B, 4B
	<i>“A Proporção entre elas é de um para dois, pois são dois ácidos tartáricos: temos dois hidróxidos de sódio para 1 de ácido tartárico”</i> (1E) <i>“20 mL de vinho \rightarrow 13,3mL de NaOH para neutralizar 20 - 100% 13,3 - x x = 66,5% o ácido constitui 66,5% do vinho branco 40g - 1 mol x - $1,33 \times 10^{-3}$ x = 0,05g (2H)”</i>		Indeterminado	1D, 1E, 1I, 2A, 2E, 2H, 5C
			Não expressou	2G

APÊNDICE M – Categorização das respostas quanto à estequiometria

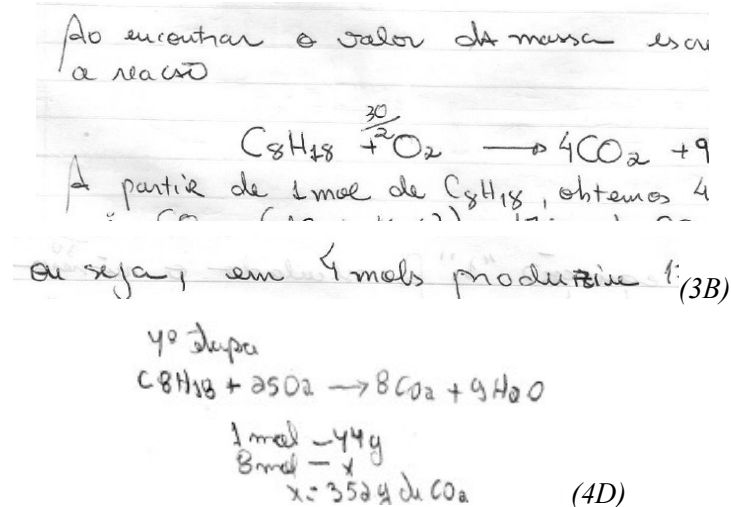
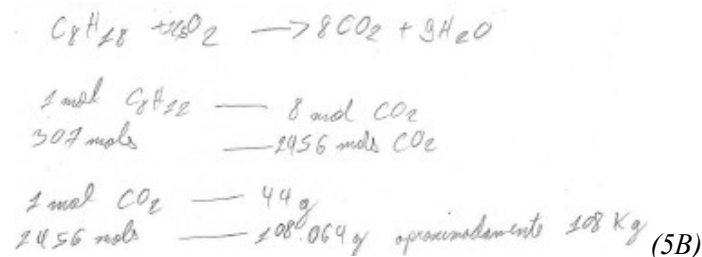
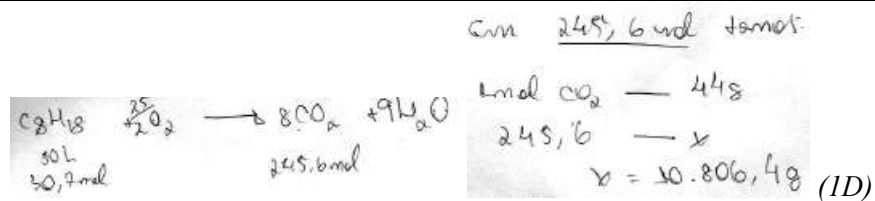
CONSERVAÇÃO DA MATÉRIA NA ESTEQUIOMETRIA				
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos
<p>AF – 01</p> <p>Sabendo que uma amostra de 7,2 gramas de um hidrocarboneto foi submetida à combustão utilizando o kaliapparat, segundo o processo descrito no texto acima e que essa queima gerou 10,8 gramas de água e 22,0 gramas de gás carbônico, qual é fórmula mínima desse hidrocarboneto?</p>	 <p> $M_O = 7,2g - (6g + 1,2g) = 0g$ $M_O = 7,2 - 7,2g$ $M_O = 0g$ (NÃO foi utilizado O_2) ? </p> <p> - para H_2O 1 mol - 18g x - 10,8g (1) x = 0,6 mol </p> <p> - para CO_2 1 mol - 44g x - 22g (2) x = 0,5 mol (1A) </p> <p> Pensando no conceito de conservação da matéria, calculou-se as massas de O_2 consumidas nas combustões: $C_xH_y + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ 7,2g 22,0g 10,8g } Massa O_2: Foi calculado o número de mols dos reagentes e produtos. - Utilizando os números de mols encontrados nas reações: $C_xH_y + 8O_2 \rightarrow 5CO_2 + 6H_2O$ - Pensando em conservação, tem-se nos produtos: • 5 átomos de carbono • 16 átomos de oxigênio (proveniente apenas do O_2, que na reação, também tem 16 átomos de oxigênio) (2F) </p>		<p>Existe a conservação devido à correspondência entre as massas e quantidade de matéria dos reagentes e produtos</p>	<p>1D, 2C, 2D, 2F, 3A, 3C, 3D, 4E, 5A, 5B, 5D</p>

	<p> $2x \text{ mol } \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2x \text{ mol } \text{H}_2\text{O} + 2x \text{ mol } \text{CO}_2$ </p> <p> $1 \text{ mol} \text{ --- } 62 \text{ g de } \text{H}_2\text{CO}_3$ </p> <p> $x \text{ --- } 7,2 \text{ g de } \text{H}_2\text{CO}_3$ </p> <p> $x = 0,116 \text{ mol de } \text{H}_2\text{CO}_3 \quad (IE)$ </p> <p> <i>Para obter números inteiros</i> </p> <p> $\text{C: } 1 \times 5 = 5$ </p> <p> $\text{H: } 1,2 \times 5 = 6$ </p> <p> $\text{O: } 3,2 \times 5 = 16$ </p> <p> $\therefore \text{C}_5\text{H}_6\text{O}_{16} \quad (II)$ </p>	<p>Existe correspondência entre partículas nos reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta com as fórmulas</p>	<p>1E, 1I</p>
	<p> $x \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ </p> <p> $x = \text{CH}_4?$ </p> <p> <i>Mas, H-C-H não é instável, ele precisa</i> </p> <p> <i>unidades de H-C-H, para isso</i> </p> <p> $\text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \quad (IC)$ </p>	<p>Existe correspondência entre reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta entre suas quantidades de matéria</p>	<p>1C, 2E</p>

	 <p> $2H - H_2O$ $2g - 18g$ $x - 108g$ $x = 120g \text{ de H}$ $H = \frac{12}{1} = 12$ $H = \frac{12}{0,5} = 24$ CH₂₄ FÓRMULA (2E) </p>			
	 <p> $2H_2O + 1CaCl_2 \rightarrow 2HCl + 1Ca(OH)_2$ $1CO_2 + 2KOH \rightarrow 1K_2CO_3 + 1H_2O$ (1B) </p> <p> <i>“Ou seja, estou produzindo 0,5 mol de CO₂. O mesmo deveria ser feito para a água. Mas não consigo ver em como prosseguir para achar o n° de mol para balancear” (4C)</i> </p>		Indeterminado	1B, 2A, 2B, 2H, 3B, 4C, 5C
			Não expressou	2G, 4D
<p style="text-align: center;">AF – 02</p> <p>Foram dissolvidos 50,0g de carbonato de sódio, Na₂CO₃, em água suficiente para se obter 500,0mL de solução aquosa. Qual a concentração em mol/L da solução de Na₂CO₃? Quais as concentrações em mol/L dos íons sódio e carbonato na solução?</p>	<p> <i>“Há dissociação do sal em água formando os íons com seus devidos números de mols. Sabendo a estequiometria da reação, <u>conclui-se que 1 mol de Na₂CO₃ formará 2 mols de Na⁺ e 1 mol de CO₃²⁻</u>, desta forma chegaremos a concentração de cada íon” (2A)</i> </p> <p> <i>“Com a representação da reação pode-se estabelecer a relação de proporção que neste caso seria:</i> </p> <p style="text-align: center;"> $1 \text{ mol de Na}_2\text{CO}_3 - 2 \text{ mols de Na}^+$ </p> <p> <i>1 mol de Na₂CO₃ - 1 mol CO₃²⁻. Portanto tem-se que a concentração de CO₃²⁻ é igual de Na₂CO₃ e a de Na⁺ é duas vezes maior, com isso pode-se dizer que a concentração de Na⁺ é de 1,88mol/L e de CO₃²⁻ é de 0,94mol/L” (3C)</i> </p>	<p>-conclui-se que 1 mol de Na₂CO₃ formará 2 mols de Na⁺ e 1 mol de CO₃²⁻</p>	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre as massas e quantidade de matéria dos reagentes e produtos</p>	<p>1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 3A, 3C, 3D, 4C, 4E, 5A, 5B, 5D</p>

	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{Na} + \text{CO}_3^{2-}$ $\frac{106 \text{ g/mol}}{106} \quad \frac{46 \text{ g/mol}}{46} \quad \frac{60 \text{ g/mol}}{60}$ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 1 \text{ CO}_3^{2-}$ $\frac{106}{106} \quad - \quad \frac{60}{60}$ $50 \quad - \quad y$ $y = 28,30$ $C = \frac{28,30}{0,500}$ $C \text{ CO}_3^{2-} = 56,60 \text{ mol/L (2H)}$	<p>Existe a conservação devido à correspondência entre as massas dos reagentes e produtos</p>	<p>2H</p>
	<p>“Em 1 mol de Na_2CO_3 temos: 2 mol de Na e 3 mol de CO_3^{2-}” (1D)</p> <p>3º etapa</p> $C = \frac{0,47}{0,5} = 0,94 \text{ mol/L}$ $2 \text{ Na}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ <p>0,47 mols de ions de sodium 0,94 mols de ions de carbonato (4D)</p>	<p>Existe correspondência entre reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta entre suas quantidades de matéria</p>	<p>1D, 4D</p>
	<p>“A concentração de Na_2CO_3 é de 0,095 mol em 1000,0mL, ou seja 0,095 mol/L” (1C)</p> <p>“Como o volume e o número de mols não variam, logo a concentração dos íons permanece a mesma, uma vez que a quantidade molar não foi consumida, e sim diluída” (3B)</p>	<p>Indeterminado</p>	<p>1B, 1C, 1E, 2E, 2G, 3B, 5C</p>
<p>AF – 04</p>		<p>Existe a conservação devido</p>	<p>1D, 3D, 5A, 5B</p>

Para esse exercício considere que o isoctano (C_8H_{18}) é o principal componente da gasolina. Assim, considere também que a sua densidade é de $0,7\text{kg/L}$ e seu calor de combustão é de $-5461,0\text{ kJ/mol}$. Dessa forma, calcule a quantidade de energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.



Não estabelece relação entre reagentes e produtos (1E)
Não estabelece relação entre reagentes e produtos, somente nos reagentes (2B)

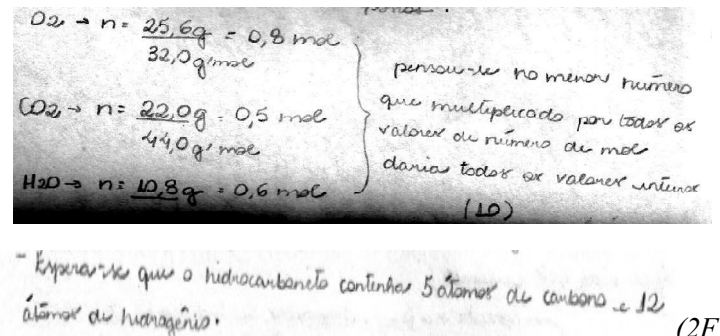
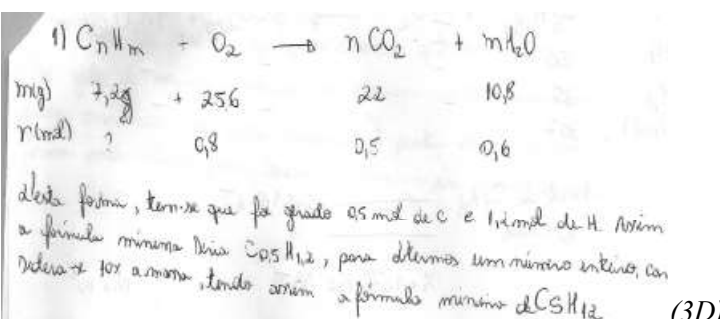
à correspondência entre as massas e quantidade de matéria dos reagentes e produtos

Existe correspondência entre reagentes e produtos, indicados pelos símbolos, mas que não tem relação direta entre suas quantidades de matéria

2D, 2F, 3B, 4C, 4D, 5D

Indeterminado

1E, 2B

			Não expressou	1B, 1C, 1I, 2A, 2C, 2E, 2G, 2H, 3A, 3C, 4E, 5C		
RELAÇÕES PROPORCIONAIS NA ESTEQUIOMETRIA						
	Exemplos de respostas dos alunos	Unidades de Registros	Invariantes Operatórios	Ocorrência quanto aos alunos		
<p style="text-align: center;">AF – 01</p> <p>Sabendo que uma amostra de 7,2 gramas de um hidrocarboneto foi submetida à combustão utilizando o kaliapparat, segundo o processo descrito no texto acima e que essa queima gerou 10,8 gramas de água e 22,0 gramas de gás carbônico, qual é fórmula mínima desse hidrocarboneto?</p>			<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser expressa na determinação de fórmulas químicas</p>	<p>2C, 2F, 3D, 5B</p>		
						
	<p>para H₂O 1 mol - 18g x - 10,8g ① x = 0,6 mol</p> <p>para CO₂ 1 mol - 44g x - 22g ② x = 0,5 mol</p>					<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas</p>

$$C \frac{0,5}{0,5} \quad H \frac{1,2}{0,5} \Rightarrow \boxed{C_1 H_2} \quad (1C)$$

$$C = \frac{83,33g}{12g/mol} = 6,94 \text{ mol} \quad H = \frac{16,67g}{1g/mol} = 16,67 \text{ mol} \quad (C_7H_{16}) \quad (2D)$$

C - C ₀₂	2H - H ₂ O
12g - 44g	2g - 36g
x - 22,0g	x - 108g
x = 6g C	x = 12g de H
C = $\frac{6}{12} = 0,5$	H = $\frac{12}{1} = 12$
C = $\frac{0,5}{0,5} = 1$	H = $\frac{12}{0,5} = 24$

$\boxed{CH_{24}}$
FORMULA (2E)

1H - 1,0g	1C - 12g
x = 10,8g	x = 22,0g
$\boxed{x = 10,8 \text{ H}}$	$\boxed{x = 1,83 \text{ C}}$

• H) $\frac{10,8}{1,83} = 5,9$ C) $\frac{1,83}{1,83} = 1,0$

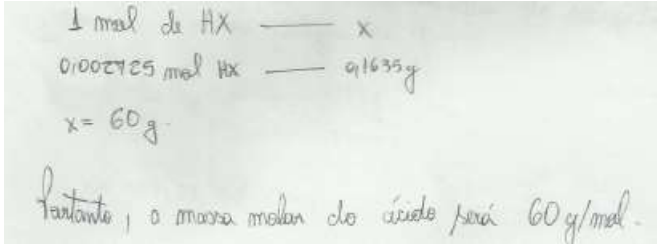
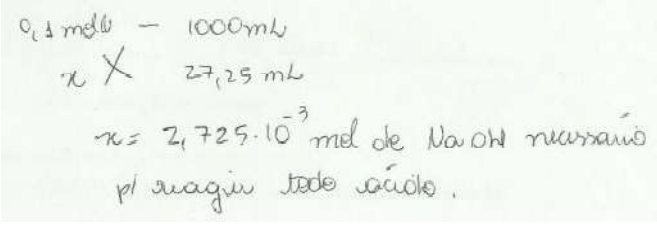
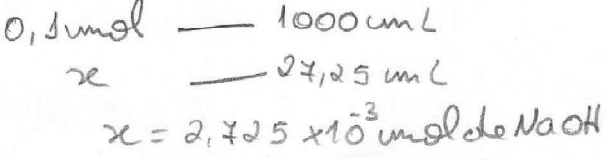
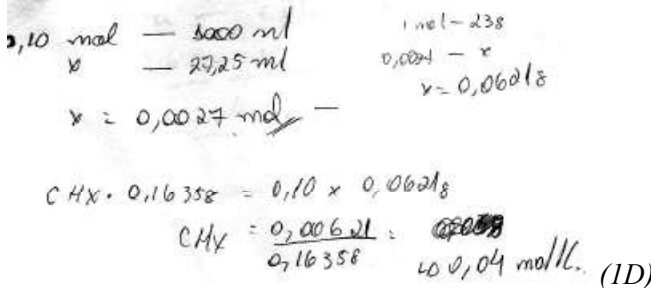
Formula mínima: C₁H₆
de Hidrocarboneto (5C)

Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis

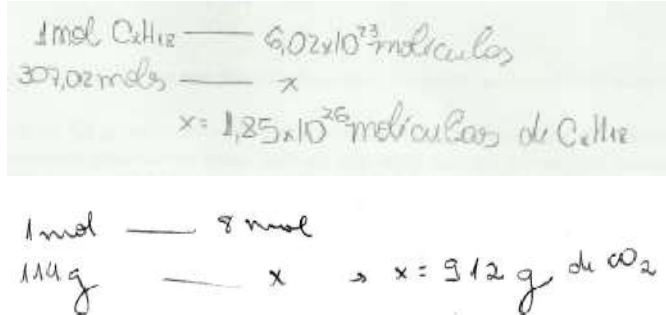
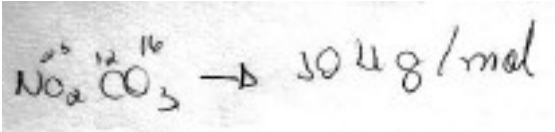
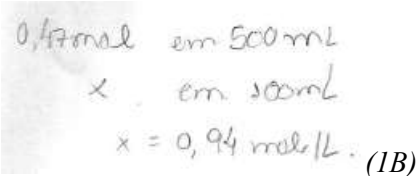
2E, 5C

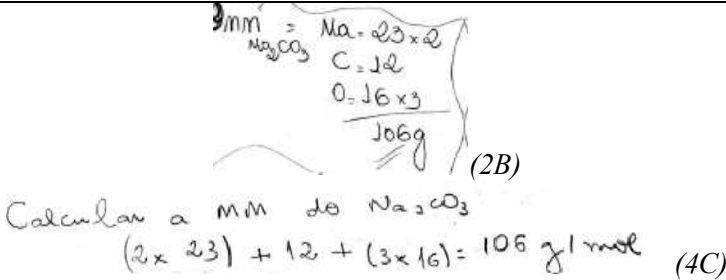
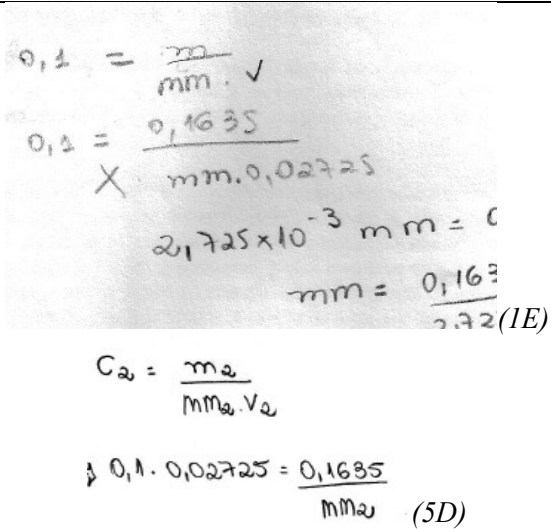
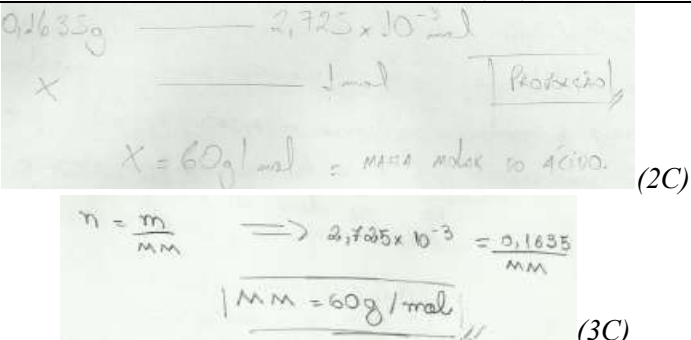
	<p> $12g \text{ --- } 1 \text{ mol}$ $2g \text{ --- } 1 \text{ mol}$ $22g \text{ --- } x$ $10,8g \text{ --- } x$ $x = 2 \text{ mol de C}$ $x = 6 \text{ mol de H}$ C_2H_6 (2A) </p> <p> 1. $\frac{7,2g \text{ de } C_xH_y}{100} = 0,072$ 2. $\frac{10,8g \text{ de } H_2O}{100} = 0,108$ </p> <p> $\frac{0,072\% \text{ de } C_xH_y}{0,072\%} \rightarrow 0,$ $\frac{0,108\% \text{ de } H_2O}{0,072\%} \rightarrow 1,5,$ </p> <p> <i>“Analisando os resultados temos que a proporção é de praticamente 1:4, sendo estes (CH₄) a possível fórmula mínima para o composto consumido”</i> (3B) </p>	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>2A, 3B</p>
	<p> $2H_2O + 1CaCl_2 \rightarrow 2HCl + 1Ca(OH)_2$ $10g - H_2O$ $1CO_2 + 2KOH \rightarrow 1K_2CO_3 + 1H_2O$ $22g - CO_2$ (1B) </p> <p> <i>“O Kaliapparat foi um instrumento utilizado para determinar a fórmula das substâncias químicas”</i> (2B) </p>	<p>Indeterminado</p>	<p>1B, 2B, 4C</p>
		<p>Não expressou</p>	<p>2G</p>

	$\begin{array}{l} 1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3 \text{ --- } 106 \text{ g} \\ x \text{ --- } 50 \text{ g} \\ x = 0,471 \text{ mols} \end{array}$ $\begin{array}{l} 1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3 \text{ --- } 2 \text{ mols Na}^+ \\ 0,942 \text{ --- } x \\ x = 1,884 \text{ mols de Na}^+ \end{array} \quad (2I)$ $\begin{array}{l} 106 \text{ g} \text{ --- } 1 \text{ mol de Na}_2\text{CO}_3 \\ 50 \text{ g} \text{ --- } y \\ y = 0,47 \text{ mols de Na}_2\text{CO}_3 \end{array}$ $\begin{array}{l} 1 \text{ Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow 2 \text{ Na}^+ + 1 \text{ CO}_3^{2-} \\ 0,94 \text{ mol/L} \qquad \qquad 1,88 \text{ mol/L} \qquad 0,94 \text{ mol/L} \end{array} \quad (3A)$	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas</p>	<p>1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 3A, 3C, 3D, 4C, 4E, 5A, 5B, 5D</p>
<p>AF – 02</p> <p>Foram dissolvidos 50,0g de carbonato de sódio, Na₂CO₃, em água suficiente para se obter 500,0mL de solução aquosa. Qual a concentração em mol/L da solução de Na₂CO₃? Quais as concentrações em mol/L dos íons sódio e carbonato na solução?</p>	$\begin{array}{l} \text{Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow 2 \text{ Na}^+ \\ 106 \text{ g} \qquad \qquad 46 \\ 50 \text{ g} \qquad \qquad x \\ x = 21,69 \text{ g} \\ C = \frac{21,69}{0,500} \\ \text{Concentração Na} = 43,38 \text{ mol/L} \end{array} \quad (2H)$	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre diferentes variáveis</p>	<p>2H</p>
	$\begin{array}{l} 1 \text{ mol} \text{ --- } 106 \text{ g} \\ n \text{ --- } 50 \text{ g} \\ n = 0,472 \text{ mol} \end{array} \quad (1B)$ $\begin{array}{l} 3^{\text{a}} \text{ etapa} \\ C = \frac{0,47}{0,5} = 0,94 \text{ mol/L} \end{array}$ $\begin{array}{l} 2 \text{ Na}^+ \qquad + \qquad \text{CO}_3^{2-} \\ 0,94 \text{ mols de ions de sódio} \qquad \qquad 0,94 \text{ mols de ions de carbonato} \end{array} \quad (4D)$	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>1B, 1C, 1D, 1E, 2E, 2G, 3B, 4D, 5C</p>

<p>AF – 03</p> <p>Para determinar a massa molar de um ácido monoprótico desconhecido, HX, uma amostra de 0,1635g do ácido foi titulado com NaOH padronizado, de concentração 0,1mol/L. Sabendo que no procedimento foram usados 27,25mL de NaOH, qual a massa molar desse ácido?</p>	 <p>(2D)</p>  <p>(4E)</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas</p>	<p>2B, 2C, 2D, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B</p>
	 <p>“Encontrou-se a quantidade de NaOH utilizada para consumir o ácido. Assim encontramos a quantidade de mol de ácido que tínhamos, sendo a quantidade de mol gasta igual a quantidade de mol do ácido consumido. Assim a quantidade em mol do ácido é de $2,725 \times 10^{-3}$ mol de HX” (2A)</p>	<p>Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada por correspondências entre as mesmas variáveis</p>	<p>2A</p>
	 <p>(1D)</p>	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>1D, 2F, 5D</p>

	$m = \frac{MM \cdot V}{V} \rightarrow \frac{2,725 \cdot 10^{-3}}{(mol/L)} = \frac{0,1635g}{MM \cdot 0,2725L}$ $MM = 220,18g \quad (2F)$		
	$C = \frac{m}{V} \rightarrow \frac{0,1635}{0,02725} = 6 \text{ mol/L} \quad (2H)$ <p>Hx</p> <p>$0,1635g \text{ NaOH} \rightarrow 27,25 \text{ mL titulação}$ $mm = ?$</p> $mm = \frac{m}{m} = \frac{2,725}{0,1635} = 16,48g \quad (5C)$	Indeterminado	1C, 1E, 1I, 2E, 2H, 3B, 5C
		Não expressou	1B, 2G
<p style="text-align: center;">AF - 04</p> <p>Para esse exercício considere que o isoctano (C_8H_{18}) é o principal componente da gasolina. Assim, considere também que a sua densidade é de $0,7 \text{ kg/L}$ e seu calor de combustão é de $-5461,0 \text{ kJ/mol}$. Dessa forma, calcule a quantidade de</p>	<p>A densidade do C_8H_{18} é de $0,7 \text{ kg/L}$. Portanto, faça as conversões para saber a massa do mesmo em 50 L:</p> $\begin{matrix} 0,7 \text{ kg} & - & 1 \text{ L} \\ x & - & 50 \text{ L} \end{matrix}$ $x = 0,7 \cdot 50 = 35 \text{ kg} \quad (\text{em } 50 \text{ L}) \quad (2F)$ $\begin{matrix} 1 \text{ mol de } C_8H_{18} & - & -5461,0 \text{ kJ} \\ 307 \text{ mol} & - & x \end{matrix}$ $x = 1676,62 \text{ MJ} \quad (3D)$	Existe relação proporcional, e ela pode ser determinada com o uso de propriedades intensivas	1D, 2D, 2F, 3D, 5A, 5B

<p>energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.</p>	 <p>(3A)</p> <p>(4C)</p>	<p>Existe relação proporcional, entre variáveis, mas é circunstancial</p>	<p>1E, 2B, 2H, 3A, 3B, 3C, 4C, 4D, 4E, 5D</p>	
		<p>Não expressou</p>	<p>1B, 1C, 1I, 2A, 2C, 2E, 2G, 5C</p>	
<p>MASSA MOLAR NA ESTEQUIOMETRIA</p>				
<p>AF – 02</p> <p>Foram dissolvidos 50,0g de carbonato de sódio, Na₂CO₃, em água suficiente para se obter 500,0mL de solução aquosa. Qual a concentração em mol/L da solução de Na₂CO₃? Quais as concentrações em mol/L dos íons sódio e carbonato na solução?</p>	<p>Exemplos de respostas dos alunos</p>	<p>Unidades de Registros</p>	<p>Invariantes Operatórios</p>	<p>Ocorrência quanto aos alunos</p>
	 <p>(1D)</p>		<p>A correspondência entre as massas molares dos componentes e a quantidade de partículas, na fórmula química, não é direta</p>	<p>1D</p>
	 <p>(1B)</p>		<p>Existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais, não é direta</p>	<p>1B</p>

	 <p> $MM = Na \cdot 23 \times 2$ $C = 12$ $O = 16 \times 3$ $\hline 106g$ (2B) </p> <p> Calcular a MM do Na_2CO_3 $(2 \times 23) + 12 + (3 \times 16) = 106 \text{ g/mol}$ (4C) </p>	<p>Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas</p>	<p>1C, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D</p>
<p>AF – 03</p> <p>Para determinar a massa molar de um ácido monoprótico desconhecido, HX, uma amostra de 0,1635g do ácido foi titulado com NaOH padronizado, de concentração 0,1 mol/L.</p> <p>Sabendo que no procedimento foram usados 27,25 mL de NaOH, qual a massa molar desse ácido?</p>	 <p> $0,1 = \frac{m}{MM \cdot V}$ $0,1 = \frac{0,1635}{MM \cdot 0,02725}$ $X \cdot MM \cdot 0,02725$ $2,725 \times 10^{-3} \text{ MM} = 0$ $MM = \frac{0,1635}{2,72} \text{ (1E)}$ $C_2 = \frac{m_2}{MM_2 \cdot V_2}$ $0,1 \cdot 0,02725 = \frac{0,1635}{MM_2} \text{ (5D)}$ </p>	<p>Existe relação entre a massa molar e a quantidade de matéria, mas esta relação, com os dados experimentais, não é direta</p>	<p>1E, 5D</p>
	 <p> $0,1635g \text{ — } 2,725 \times 10^{-3} \text{ mol}$ $X \text{ — } 1 \text{ mol}$ (Proporção) $X = 60g/mol = \text{massa molar do ácido.}$ (2C) </p> <p> $n = \frac{m}{MM} \Rightarrow 2,725 \times 10^{-3} = \frac{0,1635}{MM}$ $MM = 60g/mol$ (3C) </p>	<p>Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas</p>	<p>2B, 2C, 2D, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B</p>

	$\frac{0,1635g}{0,02725L} = n$ $n = 4,455 \times 10^{-3} g/L$ <p>(1E)</p> <p>“Se foi utilizado 0,1635g de Na_2CO_3 e 0,08175g de NaOH, o NaOH é 2x maior que o Na_2CO_3 portanto a proporção será de 2NaOH para 1 Na_2CO_3. Se a massa molar do NaOH é de 30g/mol, jogando na proporção, então o Na_2CO_3 é a metade, ou seja, 15g/mol” (1C)</p>	Indeterminado	1C, 1D, 1I, 2A, 2E, 2F, 2H, 3B, 5C
		Não expressou	1B, 2G,
<p>AF – 04</p> <p>Para esse exercício considere que o isoctano (C_8H_{18}) é o principal componente da gasolina. Assim, considere também que a sua densidade é de 0,7kg/L e seu calor de combustão é de -5461,0 kJ/mol. Dessa forma, calcule a quantidade de energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.</p>	$\frac{1 \text{ mol isoct.}}{x} = \frac{90g}{35000g}$ $x = 2,571 \times 10^3 \text{ mol isoct.}$ <p>(5D)</p>	A correspondência entre as massas molares dos componentes e a quantidade de partículas, na fórmula química, não é direta	5D
	$MM = (12 \times 8) + 18 = 114. g/mol$ <p>(4C)</p> $1 \text{ mol } C_8H_{18} = 114g$ <p>(1D)</p>	Existe relação entre massa padrão, massa experimental e a quantidade de partículas	1D, 2B, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B
		Não expressou	1B, 1C, 1E, 1I, 2A, 2C, 2E, 2G, 3B, 5C
OS SÍMBOLOS E A ESTEQUIOMETRIA			

<p>0,7kg/L e seu calor de combustão é de -5461,0 kJ/mol. Dessa forma, calcule a quantidade de energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.</p>	 $307 \text{ g } C_8H_{18} + 7675 \text{ g } O_2 \rightarrow 2456 \text{ g } CO_2 + 2763 \text{ g } H_2O \quad (2F)$		<p>Existe coesão nos símbolos químicos, mas não entre os símbolos na reação química</p>	<p>2D, 2F, 3B, 4D</p>
	 		<p>Indeterminado</p>	<p>1E, 2B, 2H, 3A, 3C, 4E</p>
			<p>Não expressou</p>	<p>1B, 1C, 1I, 2A, 2C, 2E, 2G, 5C</p>
MOL E A CONSTANTE DE AVOGADRO NA ESTEQUIOMETRIA				
<p>AF – 01</p> <p>Sabendo que uma amostra de 7,2 gramas de um hidrocarboneto foi submetida à combustão utilizando o kaliapparat, segundo o processo descrito no texto acima e que essa queima gerou 10,8 gramas de água e 22,0 gramas de gás carbônico, qual é fórmula mínima desse</p>	<p>Exemplos de respostas dos alunos</p>	<p>Unidades de Registros</p>	<p>Invariantes Operatórios</p>	<p>Ocorrência quanto aos alunos</p>
	 			<p>O mol é uma unidade de medida</p>

<p>hidrocarboneto?</p>	$\begin{aligned} 44g &- 1\text{mol} \\ 22g &- y \\ y &= 0,5 \\ 6,02 \times 10^{23} &- 1 \\ y &= 0,5 \\ y &= 3,01 \times 10^{23} \quad (2H) \end{aligned}$	<p>O mol está relacionado com um número definido de partículas</p>	<p>2H</p>
	<p>Água</p> $\begin{aligned} 1\text{ mol} &- 18g \\ y &- 10,8g \\ y &= 0,6\text{ mol} \quad (3C) \end{aligned}$ <p>1 mol CO_2 - 44g - 12g C</p> $\begin{array}{l} 22g \times x \\ x = 6g \text{ de C} \quad (4E) \end{array}$	<p>O mol está associado com a massa molar</p>	<p>1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 4E, 5A, 5B, 5D</p>
	<p>Todos os estudantes não expressam mol neste exercício, mas o utilizam implicitamente</p>	<p>Indeterminado</p>	<p>2E, 3B, 4C, 5C</p>
		<p>Não expressou</p>	<p>1B, 2B, 2G, 4D</p>
<p>AF - 02</p> <p>Foram dissolvidos 50,0g de carbonato de sódio, Na_2CO_3, em água suficiente para se obter 500,0mL de solução aquosa. Qual a concentração em mol/L da solução de Na_2CO_3? Quais as concentrações em mol/L dos íons sódio e carbonato</p>	<p>em 1 mol de Na_2CO_3 temos:</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 mol de Na^+ 3 mol de CO_3^{2-} (2) <p>(1D)</p> $\begin{array}{l} 1\text{ mol } \text{Na}_2\text{CO}_3 \\ 0,9434\text{ mol} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{---} \quad 1\text{ mol } \text{CO}_3^{2-} \\ \text{---} \quad x \\ x = 0,9434\text{ mol } \text{CO}_3^{2-} \end{array} \quad (4C)$	<p>O mol é uma unidade de medida</p>	<p>1D, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 5A, 5B, 5D</p>

<p>na solução?</p>	<p> $N = 23 \times 2 = 46$ $C = 12$ $O = 16 \times 3 = 48$ $\frac{106 \text{ g/mol}}{106 \text{ g/mol}}$ (11) </p> <p>A base utilizada tinha $[\text{NaOH}] = 0,1 \text{ mol/L}$ (2F)</p>	<p>O mol está associado com propriedades intensivas</p>	<p>1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D</p>
	<p> $106 \text{ g} \rightarrow 1 \text{ mol de } \text{Na}_2\text{CO}_3$ $50 \text{ g} \rightarrow y$ $y = 0,47 \text{ mols de } \text{Na}_2\text{CO}_3$ (3A) </p> <p> $106 \text{ g} \rightarrow 1 \text{ mol}$ po constância de mols $100 \text{ g} \rightarrow x$ $\frac{100 \text{ g}}{106 \text{ g}} = 0,94 \text{ mol/L}$ (4E) </p>	<p>O mol está associado com a massa molar</p>	<p>1B, 1C, 1D, 1E, 1I, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5C, 5D</p>
<p>AF - 03</p> <p>Para determinar a massa molar de um ácido monoprótico desconhecido, HX, uma amostra de 0,1635g do ácido foi titulado com NaOH padronizado, de concentração 0,1 mol/L. Sabendo que no procedimento foram usados 27,25mL de NaOH, qual a massa molar desse ácido?</p>	<p> $0,1 \text{ mol} \rightarrow 1000 \text{ mL}$ $x \rightarrow 27,25 \text{ mL}$ $x = 2,725 \times 10^{-3} \text{ mol de NaOH}$ (2A) </p> <p> $C = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = \frac{n}{0,02725 \text{ L}} = 0,002725 \text{ mol}$ (2D) </p> <p> 30 g/mol NaOH (1C) </p> <p> $1 \text{ mol } \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2 \text{ mols de } \text{Na}^+$ $0,2358 \text{ mol/L} \rightarrow x$ $x = 0,4716 \text{ mol/L de } \text{Na}^+$ (2B) </p>	<p>O mol é uma unidade de medida</p>	<p>2A, 2C, 2D, 2F, 3A, 3C, 3D, 4D, 5A, 5B, 5D</p>
		<p>O mol está associado com propriedades intensivas</p>	<p>1C, 1D, 1E, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2H, 3A, 3B, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D</p>

	$\begin{array}{l} 1 \text{ mol} \text{ --- } 40 \text{ g} \\ 2,725 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \text{ --- } x \\ \hline x = 9,109 \text{ g} \end{array} \quad (4C)$ <div style="background-color: #e0e0e0; padding: 5px; margin-top: 10px;"> $\begin{array}{l} 2,725 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \text{ --- } 0,1635 \text{ g} \\ 1 \text{ mol} \text{ --- } n \\ \hline n = 60 \text{ g/mol} \end{array} \quad (5A)$ </div>	O mol está associado com a massa molar	1C, 1D, 1E, 1I, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 2C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D
	<p style="text-align: center;">Apesar de resolver o exercício, não utiliza o mol (2E)</p> $\begin{array}{l} m = c \cdot V \\ n = 27,25 \cdot 0,1 \\ n = 2,725 \\ \text{mol} \end{array} \quad (5C)$	Indeterminado	2E, 5C
		Não expressou	1B, 2G
<p style="text-align: center;">AF – 04</p> <p>Para esse exercício considere que o isooctano (C_8H_{18}) é o principal componente da gasolina. Assim, considere também que a sua densidade é de $0,7 \text{ kg/L}$ e seu calor de combustão é de $-5461,0 \text{ kJ/mol}$. Dessa forma,</p>	$\begin{array}{l} 1 \text{ mol de } C_8H_{18} \text{ --- } 8 \text{ mol de } CO_2 \\ 307 \text{ mol de } C_8H_{18} \text{ --- } x \\ \hline x = 2456 \text{ mol de } CO_2 \end{array} \quad (3D)$ $\begin{array}{l} 1 \text{ mol} \text{ --- } 114 \text{ g} \\ x \text{ --- } 3500 \text{ g} \\ \hline x = 307 \text{ mol} \end{array} \quad (4D)$	O mol é uma unidade de medida	2D, 3B, 3D, 4C, 4D, 5A, 5B, 5D

<p>calcule a quantidade de energia fornecida na queima de 50L de gasolina. Calcule também a massa e o número de moléculas de gás carbônico formado, imaginando que essa queima seja completa.</p>	<p> $1 \text{ mol de } C_8H_{18} \xrightarrow{\text{queima}} -346,0 \text{ kJ}$ $307,0 \text{ mol } C_8H_{18} \xrightarrow{\text{queima}} -1,076 \cdot 10^6 \text{ kJ}$ (2B) </p> <p> $MM \text{ de } C_8H_{18} = 8 \cdot 12 + 18 \cdot 1 = 114 \text{ g/mol}$ (2F) </p>	<p>O mol está associado com propriedades intensivas</p>	<p>2B, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 3D, 4C, 4D, 4E, 5A, 5D</p>
	<p> $1 \text{ mol} \xrightarrow{\text{queima}} 6 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}$ $245,6 \xrightarrow{\text{queima}} x$ $x = 1,473,6 \cdot 10^{24} \text{ moléculas}$ (1D) </p> <p> $1 \text{ mol de } CO_2 \xrightarrow{\text{queima}} 6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}$ $2456,08 \text{ mol } CO_2 \xrightarrow{\text{queima}} x$ $x = 1,479 \cdot 10^{27} \text{ moléculas de } CO_2$ (2D) </p>	<p>O mol está relacionado com um número definido de partículas</p>	<p>1D, 2D, 2F, 3A, 3B, 3C, 3D, 4D, 5A, 5B, 5D</p>
	<p> $1 \text{ mol} \xrightarrow{\text{queima}} 8 \text{ mol}$ $114 \text{ g} \xrightarrow{\text{queima}} x \rightarrow x = 912 \text{ g de } CO_2$ (4C) </p> <p> $1 \text{ mol } C_8H_{18} = 114 \text{ g}$ $x = 35000 \text{ g}$ $x = 307 \text{ mol}$ (5A) </p>	<p>O mol está associado com a massa molar</p>	<p>1D, 1E, 2B, 2D, 2F, 2H, 3A, 3C, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B, 5D</p>
		<p>Não expressou</p>	<p>1B, 1C, 1I, 2A, 2C, 2E, 2G, 5C</p>