



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO**

JOÃO ROBERTO RATIS TENÓRIO DA SILVA

**UM PERFIL CONCEITUAL PARA O CONCEITO DE
SUBSTÂNCIA**

RECIFE

2011

JOÃO ROBERTO RATIS TENÓRIO DA SILVA

**UM PERFIL CONCEITUAL PARA O CONCEITO DE
SUBSTÂNCIA**

Dissertação apresentada ao
Departamento de Educação, na
Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como requisito final para
obtenção de título de Mestre em Ensino
das Ciências.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Edenia Maria Ribeiro do
Amaral

RECIFE

2011

AGRADECIMENTOS

São 27 de novembro de 2010, sábado, 10h30 da manhã. Ainda nem terminei a redação da dissertação e já estou escrevendo estes agradecimentos. Não sei se terminarei de escrever ainda hoje, porém estou começando, visto que tenho que agradecer a várias pessoas e faço questão de me lembrar de cada uma.

Primeiramente, agradeço a **Deus**, dono de toda Sabedoria e Ciência, por ter me dado força e ânimo para fazer este trabalho. Não foi fácil dia após dia, sentar na frente deste computador para redigir o texto, fazer pesquisas e até mesmo ler artigos e livros que só tinha em formato PDF.

Agradeço à minha orientadora, professora e amiga **Edenia Maria Ribeiro do Amaral**. Agradeço pela paciência em me orientar neste Mestrado, mesmo depois de me aturar quatro anos na graduação (rsrsrs). Agradeço pelos orientamentos, discussões, conselhos, conversas e por toda experiência transmitida para mim. Ela é minha mãe acadêmica! Muito obrigado, Edenia! Espero ter atendido suas expectativas nos nossos trabalhos realizados.

Agradeço à minha família. Minha mãe, **Rute Tenório da Silva**, meu pai, **João Francisco da Silva** e minha irmã **Joyce Roberta Tenório da Silva**. Agradeço pela paciência em ter que me aturar em vários momentos de estresse na frente do computador enquanto trabalhava na dissertação. Agradeço pelo apoio e incentivo recebido nesses dois anos de árduo trabalho para concluir este trabalho. Agradeço também à minha namorada **Maria Livia Cirrincione**, que acompanhou todo este trabalho. Agradeço pela compreensão, ajuda na análise de alguns dados e nas várias discussões a cerca de conceitos da psicologia cognitiva que me ajudou muito! Obrigado, Livia!

Obrigado aos amigos **Bruno Silva Leite**, **Rodrigo Vinícius**, **Iris Gabrielle**, **Flávia Cristina**, **Simone Kelli**, **Bruno França**, **Thiago Araújo** e professor **Marcelo Leão**. Agradeço não apenas pelos momentos de descontração durante este período, nas conversas no SEMENTE ou “extra-universidade”, mas também pelo apoio e ajuda que tive deles de forma direta e indireta. Obrigado, pessoal!

Agradeço às professoras **Ruth Firme** e **Kátia Aquino**, pela contribuição em me permitir coletar os dados em suas respectivas turmas, **Angela Almeida**, por me sugerir algumas leituras que foram úteis ao meu trabalho, aos professores **Francisco Coutinho**,

Orlando (UFMG), **José Luís** (UFBA) e professor **Michael Loverude** (University of Washington) por me sugerirem diversas leituras e me repassarem seus trabalhos para minha dissertação. Agradeço também a todos os professores do programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências que contribuíram para a minha formação nesses dois anos. Em especial: professora **Mônica Lins**, **Rosane Alencar** e **Helaine Sivini**.

Agradeço também à **CAPES** pela bolsa concedida e pelo incentivo financeiro recebido ao longo desses dois anos para minha formação.

Neste momento são 10h57 da manhã do sábado 27 de novembro de 2010. Finalizo aqui estes agradecimentos. Obrigado a todos!

"Matéria e energia são apenas duas manifestações diferentes da mesma realidade física fundamental (...)"
Albert Einstein

"A matéria nada mais é do que energia capturada"
Dan Brown

*A todos que
acreditam no poder
transformador da
Educação.*

RESUMO

Observando que o conceito de substância é polissêmico, admitindo diversos significados em contextos diversos, esta dissertação teve como objetivo propor um perfil conceitual (MORTIMER, 1995) para este conceito. O perfil foi proposto a partir de uma coleta de dados em diversas fontes como: textos de História da Química, artigos na literatura em Ensino de Ciências, questionários aplicados a alunos do ensino médio e superior e entrevistas semi-estruturadas. Essas fontes permitiram um levantamento de dados representativos de três domínios genéticos (WERTSCH, 1985): ontogenético, sociocultural e microgenético. Participaram da pesquisa 89 estudantes, sendo 72 do Ensino Médio e 17 licenciandos em Química. Os dados da pesquisa bibliográfica nos forneceram as primeiras categorias, as quais passaram ao *status* de zonas ao cruzarmos com os dados da pesquisa empírica (respostas aos questionários e entrevistas). Analisamos os questionários individualmente, e chegamos às zonas individuais, para cada aluno, tendo por base as categorias que já emergiram na pesquisa bibliográfica e os compromissos epistemológicos/ontológicos. Deste modo, as concepções dos alunos que se enquadraram nas zonas propostas se mostraram com valor pragmático (JAMES, 1974) para o perfil. Ao final, propomos as seguintes zonas para o perfil conceitual de substância: generalista, essencialista, substancialista, racionalista e relacional.

Palavras – chave: perfil conceitual, substância, contexto

ABSTRACT

Looking that the concept of substance is polysemic, assuming a several meanings in divers contexts, this dissertation had the goal to propose a conceptual profile (MORTIMER, 1995) for this concept. The profile was proposed from dates collected in divers sources like: texts of History of Chemistry, papers in the literature in Science Education, questionnaires applied to pupils of high school and graduate degrees and interviews semi-structured. These sources allowed a collected of dates representatives of three genetics domains (WERTSCH, 1985): ontogenectis, sociocultural and microgenetics. The dates of the bibliographic research provided us the first categories in which became zones when we joined with the dates of empirical research (answers from questionnaires and interviews). We analyzed the questionnaires individually and we have arrived to individuals zones for each student, based on the categories yet appeared on the bibliographic research and the epistemologics/ontologics commitments. Thus, the students' conceptions that formed the proposed zones presented pragmatic value (JAMES, 1974) to the profile. At last, we proposed the followed zones to the conceptual profile of substance: generalist, essentialist, substancialist, rationalist and relational.

Key - words: conceptual profile, substance, contexts

Índice

INTRODUÇÃO	14
Justificativa	19
Objetivos	20
CAPÍTULO 1 O PERFIL CONCEITUAL E OS SEUS PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	23
1.1 Domínios Genéticos de Vigostki	24
1.1.1 Domínio Sócio-cultural	26
1.1.2 Domínio ontogenético	27
1.1.3 Domínio microgenético	28
1.2 A noção do perfil conceitual	29
1.2.1 Perfil conceitual x Mudança conceitual	34
1.2.2 Alguns perfis conceituais propostos na literatura	36
1.2.2.1 Um perfil conceitual para o conceito de átomo e estados físicos da matéria	36
1.2.2.2 Um perfil conceitual para o conceito de molécula	37
1.2.2.3 Um perfil conceitual para o calor	37
1.2.2.4 Um perfil conceitual para entropia	38
1.2.2.5 As transformações químicas e o perfil conceitual	39
1.3 Compromissos epistemológicos das concepções relativas a conceitos científicos	39
1.3.1 Compromissos epistemológicos	40
1.3.1.1 Realismo	40
1.3.1.2 Substancialismo	41
1.3.1.3 Racionalismo	43
1.3.1.4 Racionalismo dialético	44
1.4 O essencialismo e a metafísica objetiva	45

1.5	Diferentes ontologias	46
1.6	O pragmatismo de William James	47
CAPÍTULO 2	METODOLOGIA DE PROPOSIÇÃO DO PERFIL CONCEITUAL DE SUBSTÂNCIA	51
2.1	Detalhamento das etapas de pesquisa	53
2.1.1	Coleta de dados	54
2.1.1.1	Pesquisa bibliográfica	54
2.1.1.2	Pesquisa empírica	55
2.1.1.2.1	Questionários	55
2.1.1.2.2	Entrevista semi-estruturada	57
2.1.1.2.3	Sujeitos de pesquisa	58
2.1.2	Análise dos dados – construção das zonas do Perfil	58
CAPÍTULO 3	O CONCEITO DE SUBSTÂNCIA – PROBLEMATIZAÇÃO, DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO E EPISTEMOLOGIA	60
3.1	Em busca da substância	61
3.1.1	Substância na Idade Antiga (4000 a.C ~ 500 d.C)	61
3.1.1.1	Substância na Filosofia	63
3.1.2	Substância na Alquimia e Idade Média	69
3.1.2.1	Idade Média e Alquimia Alexandrina	70
3.1.2.2	Os três princípios	71
3.1.2.3	Boyle e o elemento químico	73
3.1.3	Química dos gases: o “nascimento” da substância química	74
3.1.3.1	Contribuições de Hales, Black, Cavendish e Priestley	76
3.1.4	Lavoisier e a Química Moderna	82
3.1.5	Desdobramentos da ideia de substância de Lavoisier e a substância do século XX	87
3.1.5.1	Substância no século XX: propriedades, modelos e energia	90
3.2	Substância: um conceito polissêmico	96

CAPÍTULO 4	O CONCEITO DE SUBSTÂNCIA QUÍMICA NA LITERATURA EM ENSINO DE CIÊNCIAS	97
4.1	Levantamento de concepções de alunos e professores de Química	97
4.2	A problematização da substância	112
CAPÍTULO 5	RESULTADOS DA PESQUISA EMPÍRICA	119
5.1	Análise dos questionários	119
5.1.1	Alunos do ensino médio	120
5.1.1.1	Discussão dos dados	125
5.1.2	Licenciandos	126
5.1.3	Categorias propostas a partir dos diferentes modos de pensar	128
5.2	Análise das entrevistas	133
5.2.1	Alunos do 2º ano	133
5.2.2	Alunos do 3º ano	137
5.3	As categorias e as fontes de dados	139
CAPÍTULO 6	UM PERFIL CONCEITUAL PARA O CONCEITO DE SUBSTÂNCIA	141
6.1	Caracterização das zonas com as concepções provenientes da História da Química e levantamento bibliográfico	143
6.1.1	Zona essencialista	143
6.1.2	Zona generalista	145
6.1.3	Zona substancialista	148
6.1.4	Zona racionalista	149
6.1.5	Zona racionalista dialética	151
6.2	Perfis individuais de alunos	158
CAPÍTULO 7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	161

REFERÊNCIAS	162
APÊNDICE A QUESTIONÁRIO	170
APÊNDICE B ROTEIRO DA ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA	174

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Bifurcação: substância filosófica x substância química	76
Figura 2	Capa da obra Experiments and Observations on Different Kinds of Air	80
Figura 3	Traité Élémentaire de Chime.	85
Figura 4	Tabela de substâncias simples	87
Figura 5	Densidade de algumas substâncias, por Cannizzaro (1858)	89
Figura 6	Conformação alternada (A) e eclipsada (B) do etano	93
Figura 7	Diferentes representações para a água	153
Figura 8	Variações de energia que surgem das rotações em torno da ligação C2 – C3 do butano	153

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Síntese de algumas definições dadas para substância por Aristóteles	67
Quadro 2	Modos de pensar de alunos do Ensino Médio de uma escola da Rede Estadual de Pernambuco	121
Quadro 3	Modos de pensar identificados entre alunos do 2º ano da escola da Rede Federal de ensino	123
Quadro 4	Modos de pensar de alunos do 3ª ano do Ensino Médio de uma escola da Rede Federal de Ensino	125
Quadro 5	Modos de pensar identificados entre os licenciando do curso de Química	127
Quadro 6	Modos de falar x Respostas dos alunos	130
Quadro 7	Modos de pensar com visão microscópica da substância	131
Quadro 8	Modos de pensar com visão macroscópica da substância	131
Quadro 9	Modos de pensar com visão generalizada da substância	133
Quadro 10	Modos de pensar com visão generalizada da substância	134
Quadro 11	Modos de pensar com visão substancialista da substância	134
Quadro 12	Modos de pensar com visão relacional da substância	135
Quadro 13	Relação entre as categorias e as zonas do perfil conceitual de substância	144

INTRODUÇÃO

Esta dissertação tem como principal objetivo estruturar diferentes formas de pensar o conceito de substância, levantadas em diferentes fontes ou domínios genéticos (WERTSCH, 1985), em termos de um perfil conceitual (MORTIMER, 1995), utilizando concepções com valor pragmático (JAMES, 1974) na sala de aula. Partimos da premissa de que o conceito de substância é polissêmico, sendo representado de várias formas em contextos diferentes e, portanto, as diferentes formas de pensar este conceito podem ser estruturadas em zonas de um perfil conceitual. Essas zonas são determinadas a partir de diferentes compromissos epistemológicos e/ou ontológicos (BACHELARD, 1940/1984; MORTIMER, 2000). Diante disso, trabalhamos com a ideia de que os vários significados atribuídos ao conceito de substância estão dispersos na heterogeneidade do pensamento dos indivíduos, inseridos nos contextos cultural, escolar e científico.

A escolha do conceito de substância remete à sua relevância nas aulas de química, pois o seu entendimento é de extrema importância para a aprendizagem de outros conceitos. Além disso, consideramos que a estruturação dos vários significados atribuídos a ele, em termos de um perfil conceitual, pode contribuir para o avanço nos estudos sobre perfis conceituais, como um modelo de análise da evolução conceitual na sala de aula e que suporta teoricamente os processos de ensino e aprendizagem. Acrescentamos a isso, a possibilidade de situar as concepções prévias dos alunos sobre substância em determinados contextos, o que permite entender a resistência que elas apresentam a mudanças e o desgaste de alguns modelos de ensino que tentaram promover uma substituição de ideias anteriores por novas ideias (científicas) no processo de ensino-aprendizagem.

Na literatura, diversos trabalhos (VEER; VALSINER, 1999; POZO; CRESPO, 1998; NUÑEZ; RAMALHO, 2004; CARVALHO et al, 2004; CACHAPUZ et al, 2006, entre outros), reforçam a ideia de que os alunos, quando chegam à sala de aula, apresentam suas próprias ideias, chamadas de concepções do cotidiano, prévias, alternativas e informais. Desde a década de 70, quando estudos acerca de concepções alternativas

começaram a surgir, constituindo um programa de pesquisa que ficou conhecido como MCA (Movimento das Concepções Alternativas), foram propostas várias contribuições à área de Ensino de Ciências, principalmente na proposição de modelos de ensino. Dentre outros, podemos destacar a proposta do modelo de ensino por mudança conceitual (POSNER et al 1982). Segundo esse modelo, as concepções prévias devem ser substituídas pelo conhecimento científico quando são apontadas contradições, problemas ou limitações nas idéias do alunos frente ao conteúdo escolar a ser ensinado (CARVALHO et al, 2004). Para Mortimer (1996) o modelo de mudança conceitual foi proposto, inicialmente, para explicar ou descrever "as dimensões substantivas do processo pelo qual os conceitos centrais e organizadores das pessoas mudam de um conjunto de conceitos a outro, incompatível com o primeiro" (p. 21). Nesse sentido, 'mudança conceitual' se tornou sinônimo de 'aprender ciência' (NIEDDERER; GOLDBERG; DUIT, 1991 apud MORTIMER, 1996).

Após um período de aplicação de estratégias didáticas que adotavam o modelo de mudança conceitual como principal suporte para a organização do ensino, houve um desgaste natural desse modelo, pois os resultados da aprendizagem não correspondiam às expectativas apontadas nas pesquisas. Era freqüente nos trabalhos a constatação de que as concepções alternativas dos alunos não mudavam. Foi visto que elas dificilmente são abandonadas, pois são resistentes à mudanças e úteis para os indivíduos (MORTIMER, 1996; SILVA; AMARAL, 2006). O aluno dificilmente abandona sua concepção prévia, mesmo depois de ter estudado o conceito científico e utilizado o mesmo em algum momento da sua vida escolar. Essa resistência foi atribuída a diferentes fatores pelos pesquisadores e, em geral, considera-se que as concepções dos alunos apresentam funcionalidade em situações cotidianas, por isso elas dificilmente são abandonadas, afinal, são suficientes para resolverem determinados problemas e explicarem fenômenos (MORTIMER, 1996). Um outro aspecto é o fato de que os alunos muitas vezes não percebem a aplicabilidade dos conceitos científicos estudados na escola em situações do seu dia-a-dia.

Mesmo considerando que essas concepções encontram sentido em contextos diversos na vida do aluno, elas se apresentam limitadas quando estamos buscando compreender situações e fenômenos a partir de uma visão científica do mundo. Dessa forma, vemos

que um dos objetivos do ensino de ciências é aprender como a ciência explica fenômenos, principalmente aqueles em que as concepções usadas no cotidiano são insuficientes para isso. Esta aprendizagem de conceitos científicos não significa necessariamente suprimir aquelas concepções usadas no dia-a-dia, afinal, em determinados contextos, elas são úteis. Para Mortimer (1996, p. 04) “aprender ciência envolve a iniciação dos estudantes em uma nova maneira de pensar e explicar o mundo natural, que é fundamentalmente diferente daquelas disponíveis no senso-comum”. Esta nova maneira de pensar o mundo pode conviver com as ideias do senso-comum, desde que o aluno tenha consciência da diferença entre elas. É nesse sentido que o autor apresenta a noção do perfil conceitual (MORTIMER, 1995).

A noção de perfil conceitual foi proposta inicialmente como modelo teórico e ferramenta metodológica para analisar e estruturar diferentes idéias acerca de conceitos científicos (MORTIMER, 1995, AMARAL, 2004, COUTINHO, 2005). Com esta ferramenta, podemos estruturar a diversidade de formas de pensar um conceito, que coexistem em um mesmo indivíduo, de forma que, dentre outras coisas, podemos situar aquelas concepções prévias que não mudam em determinados contextos. Em um perfil conceitual, essas diferentes concepções constituem zonas, as quais estão relacionadas aos aspectos epistemológicos e/ou ontológicos próprios das diferentes formas de se compreender a realidade (SEPÚLVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2007). Para Mortimer (1996)

Essa noção (de perfil conceitual) permite entender a evolução das idéias dos estudantes em sala de aula não como uma substituição de idéias alternativas por idéias científicas, mas como a evolução de um perfil de concepções, em que as novas idéias adquiridas no processo de ensino-aprendizagem passam a conviver com as idéias anteriores, sendo que cada uma delas pode ser empregada no contexto conveniente (p.24).

No processo de ensino-aprendizagem, a construção de novos significados pode ser vista como uma incorporação de novas formas de pensar a um perfil conceitual do aluno que já existia. Tendo a consciência de que determinadas concepções não podem ser usadas em alguns contextos (por se apresentarem limitadas) o aluno pode fazer o uso consciente de uma forma de pensar não-científica em seu dia-a-dia, sabendo que, dentro de um contexto científico, aquela concepção é insuficiente. Além disso, ele terá consciência de que determinadas situações cotidianas podem ser explicadas de forma

diferente pela ciência. Desse modo, a aprendizagem de ciências em sala de aula pode “ser descrita como uma mudança de perfil conceitual do estudante, cujo novo perfil inclui também, mas não exclusivamente, as novas idéias científicas” (MORTIMER, 2000, p. 27).

Um passo seguinte na discussão proposta para este trabalho é refletir sobre a ideia de que essas concepções, vinculadas a zonas do perfil, emergem em determinados contextos, que estão relacionados com domínios genéticos específicos (WERTSCH, 1985).

Para Wertsch (1985), três temas são centrais na estrutura teórica de Vigotski: a confiança no método genético; a afirmação que funções mentais superiores em um indivíduo têm suas origens em processos sociais e a afirmação de que os processos mentais podem ser entendidos somente se nós entendermos as ferramentas e signos mediados por eles. Nessa perspectiva, Vigotski, em seu método genético, afirma que os processos mentais humanos só podem ser entendidos em sua essência se considerarmos quando e onde eles foram formados. Diante disso, para entender a relação entre diferentes formas de pensar o conceito de substância em seus respectivos contextos, é necessário conhecer onde e como surgiu tal concepção. Assim, as concepções levantadas nas diversas fontes de pesquisa são situadas em determinados domínios, nos termos propostos por Vigotski, como os domínios: sociocultural, ontogenético e microgenético. O levantamento de ideias nos diversos domínios genéticos mostra a pluralidade de concepções associadas ao conceito de substância. A pluralidade de significados atribuídos a um único conceito não é uma ideia nova, sendo discutida já por diversos autores, como Bachelard (1972/1984/1996) e Schutz (1967).

A ideia de pluralidade filosófica associada a um único conceito, que usamos nesta dissertação, faz parte da noção de perfil conceitual e foi inspirada nas ideias de Bachelard (1940/1984) quando propôs o perfil epistemológico. Segundo este autor um conceito científico pode ser entendido sob o olhar de vários pontos de vista filosóficos, os quais ele denominou de zonas epistemológicas que exprimem compromissos filosóficos, tais como: realismo, animismo, substancialismo, positivismo, racionalismo, racionalismo complexo e racionalismo dialético, por exemplo. Ele afirma que esses diversos pontos de vista filosóficos são encontrados em um mesmo indivíduo, sendo

que um deles pode prevalecer sobre os outros, dependendo da formação desse indivíduo e do contexto.

Segundo Bachelard (1940/1984), cada um de nós apresenta um perfil epistemológico sobre determinado conceito, o qual contém diferentes formas de pensar estruturadas a partir de diferentes compromissos epistemológicos, como aqueles citados anteriormente, e que são representados por zonas. Porém, Bachelard (1938/1996) afirma que formas de pensar animistas, realistas, empiristas e substancialistas, por exemplo, são obstáculos epistemológicos para a formação de um espírito científico racionalista. Contrariando esta posição, Mortimer (1995) ao propor o perfil conceitual considera que as diferentes formas de pensar um conceito podem coexistir em um mesmo indivíduo, sem que representem obstáculos umas às outras. Apesar da diferença apontada entre alguns princípios básicos do perfil epistemológico e perfil conceitual, neste trabalho, o uso da epistemologia de Bachelard contribuiu significativamente para a proposição de algumas zonas do perfil conceitual. Porém não nos limitamos a utilizar somente a epistemologia bachelardiana, buscando também compromissos ontológicos e epistemológicos propostos por outros autores, como Lakoff (1987).

Considerando que o conceito de substância tem amplo uso em vários contextos, principalmente no campo da Filosofia Geral e em contextos místicos, para selecionar concepções que constituíram as zonas do perfil conceitual proposto, tomamos por base ideias do pragmatismo de William James, como colocado a seguir.

Ao levantarmos diversas concepções sobre o conceito de substância, verificamos que algumas delas apresentavam significações muito diversas com relação ao universo da sala de aula e não se enquadravam na categorização feita para a proposição de zonas para o perfil. Consideramos que essas concepções não influenciam de forma direta no processo de ensino-aprendizagem. Diante disso, para compor as zonas do perfil conceitual, escolhemos concepções com um sentido prático do ponto de vista do ensino-aprendizagem de ciências, tomando por base ideias pragmatistas propostas por William James. No levantamento realizado, descartamos aquelas ideias distantes da discussão teórica acerca do conceito científico e, portanto, não causam nenhuma influência na sala de aula. Segundo James (1907), as ideias só têm sentido se apresentarem alguma utilidade, e o autor sustenta que os significados das idéias só se encontram no plano das

consequências. Se não há efeitos, é porque estas idéias não têm sentido (JAMES, 1907). Com isso, consideramos que nem todas as concepções constituem um perfil conceitual quando este é proposto em uma perspectiva de teorização e compreensão dos modelos de ensino de Ciências. Uma discussão mais aprofundada, não só sobre o pragmatismo de William James, mas sobre outros referenciais teóricos que suportam este trabalho, se encontra no capítulo 1 desta dissertação.

Justificativa

Diante da discussão que apresentamos nesta introdução, justificamos este trabalho na expectativa de traçar um perfil conceitual para o conceito de substância, visto a importância deste conceito no ensino de química. Para Silveira (2003, p. 75), “o conceito de substância, diretamente relacionado ao conhecimento de matéria, é a base da ciência química, já que esta é considerada a ciência que estuda a transformação dos materiais”. Além disso, no âmbito da Química, perfis conceituais como o de molécula (MORTIMER, 1996; MORTIMER, AMARAL, 1997), átomo e estados físicos da matéria (MORTIMER, 2000), de calor (AMARAL;MORTIMER, 2001) e entropia (AMARAL; MORTIMER, 2004) já foram propostos. Dessa forma, consideramos que um perfil para o conceito de substância poderia se complementar a estes trabalhos, visto a co-relação existente entre este e os conceitos já trabalhados. Também justificamos o uso de “substância” e não “substância química”, para não restringimos os tipos de ideia que surgiram nos dados. Se usássemos “substância química” no lugar de “substância”, excluiríamos diversas concepções que estão presentes no senso-comum e tem influência na sala de aula. Além disso, na História da Química, teríamos que abrir mão de toda construção teórica deste conceito antes do século XVIII, visto que somente nesta época é que surge o termo “substância química” para designar aquelas diversas substâncias que compõe o mundo material. Antes do século XVIII não existia “substância química”, somente “substância”, como explicamos no capítulo 3.

Diante do que foi exposto acima, orientamos este trabalho a partir do seguinte problema de pesquisa: **“que tipos de concepções sobre o conceito de substância são apresentados pelos indivíduos e emergem no contexto de ensino, e como podemos estruturá-las em termos de um perfil conceitual que seja representativo da heterogeneidade de formas de pensar este conceito?”** Buscamos responder este

problema no decorrer da aplicação da metodologia proposta para coleta e análise dos dados, em diálogo com nossos referenciais teóricos. A metodologia proposta nesta dissertação, que nos possibilitou propor este perfil conceitual, seguiu os objetivos descritos abaixo.

Objetivos

- Geral:

- Propor um perfil conceitual para o conceito de substância estruturando diferentes formas de pensar o conceito de substância em zonas, observando os compromissos epistemológicos e ontológicos entre elas.

- Específicos:

- Levantar concepções sobre substância que surgiram no desenvolvimento histórico deste conceito, na literatura em ensino de ciências e em sala de aula;
- Identificar concepções sobre substância com valor pragmático para o ensino deste conceito, de forma que possam fazer parte das zonas do perfil;
- Estruturar as diversas concepções pragmáticas em termos de zonas de um perfil conceitual, observando compromissos epistemológicos e ontológicos diferentes.

Para alcançar os objetivos descritos acima, usamos uma metodologia que vêm sendo discutida em vários trabalhos sobre proposição de perfis conceituais (MORTIMER, 2000; AMARAL; MORTIMER, 2001; AMARAL; MORTIMER, 2004; SEPULVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2007; COUTINHO, 2005, entre outros). Para este trabalho, adaptamos algumas etapas e instrumentos de pesquisa propostos por Coutinho (2005), Amaral e Mortimer (2006) e Viggiano e Mattos (2007). Os dados foram coletados a partir de uma busca de concepções dentro de determinados domínios genéticos (WERTSCH, 1985), como propõem Amaral e Mortimer (2006). Essa busca de concepções compreendeu uma pesquisa bibliográfica e empírica, com

o levantamento de ideias na História da Química e literatura em Ensino de Ciências e coleta de concepções em sala de aula com aplicação de questionários e entrevistas. O questionário para coleta de dados foi elaborado segundo a discussão apresentada por Viggiano e Mattos (2007), explicitando a relação zona-contexto, permitindo que as zonas possam emergir entre os sujeitos de pesquisa, caso os mesmos as apresentem. Já a entrevista semi-estruturada seguiu a proposta de Coutinho (2005) e seu roteiro foi elaborado baseado em determinadas situações.

A análise dos dados consistiu na estruturação da heterogeneidade de concepções acerca do conceito de substância em zonas de um perfil conceitual. Para isso, consideramos aquelas concepções que de alguma forma guardam relação com o processo de ensino-aprendizagem. Assim, estamos de acordo com as discussões mais recentes na literatura sobre perfis conceituais, considerando os diferentes significados que podem ser atribuídos a um conceito coexistindo em um mesmo indivíduo, mas cada qual pragmaticamente mais poderoso para lidar com determinados tipos de problemas (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009). Com as concepções com forte valor pragmático em mãos, estruturamos as zonas a partir dos compromissos epistemológicos e ontológicos que as concepções apresentavam, como é comum em toda proposta de perfil conceitual. Para isso, usamos algumas correntes epistemológicas propostas por Bachelard (1938/1984) além da discussão essencialista de Lakoff (1987).

Diante do que foi discutido nesta introdução, esta dissertação está estruturada da seguinte forma: no primeiro capítulo tratamos das bases teóricas que fundamentam este trabalho. Discutimos ao método genético de Vigotski no que diz respeito aos domínios genéticos, os compromissos epistemológicos de Bachelard, o pragmatismo de Putnam, além da noção do perfil conceitual. No segundo capítulo, apresentamos a metodologia do trabalho de pesquisa. Desde os instrumentos e sujeitos de pesquisa aos critérios usados na análise dos dados. No terceiro capítulo, temos o início da pesquisa propriamente dita, com a apresentação dos dados coletados na História da Química. No quarto capítulo temos os resultados da pesquisa bibliográfica, com a revisão de diversos trabalhos que apresentam diversas concepções do conceito de substância. O quinto capítulo diz respeito à pesquisa empírica. Apresentamos os

resultados da análise já com a proposição das primeiras categorias para as concepções. No sexto capítulo, incorporamos às categorias do quinto capítulo as ideias apresentadas nos capítulos anteriores e, assim, propomos as zonas do perfil conceitual. E, finalmente, no apresentamos as conclusões da dissertação, encerrando nosso trabalho com as considerações finais.

CAPÍTULO 1

O perfil conceitual e seus pressupostos teóricos

Neste capítulo apresentamos a noção do perfil conceitual ressaltando as suas bases teóricas. Com isso, discutiremos os aportes teóricos que fundamentam esta dissertação e que guiaram o nosso trabalho de análise dos dados e proposição do perfil conceitual.

Podemos considerar que três principais referenciais teóricos suportaram a forma como foi usada a noção do perfil conceitual nesta dissertação, conforme descritos abaixo:

- Os domínios genéticos propostos por Vigotski em seu método genético. Aqui, usaremos a discussão feita por Wertsch (1985). Este referencial justifica o levantamento das concepções em determinados contextos, visto que para entender o surgimento de um conceito, se deve levar em conta onde e como ele surgiu (WERTSCH, 1985).
- Compromissos epistemológicos e/ou ontológicos que concepções sobre substância podem apresentar. Para identificar esses compromissos usamos algumas das categorias epistemológicas propostas por Bachelard (1940/1984;1938/1996) e uma discussão da metafísica objetiva (essencialista) feita por Lakoff (1987). A ideia de pluralidade de significados de um conceito justifica a estruturação da heterogeneidade do pensamento em zonas, as quais representam compromissos epistemológicos distintos. Segundo Bachelard (1940/1984), um único ponto de vista filosófico é insuficiente para entender a construção do conhecimento em toda sua complexidade.
- O pragmatismo de William James que justifica a escolha de algumas concepções para composição das zonas do perfil conceitual proposto. As zonas propostas têm um caráter pragmático, ou seja, foram estruturadas no perfil aquelas concepções que têm implicações práticas na sala de aula, que emergem e influenciam ao longo do processo de ensino-aprendizagem.

A discussão dos três pontos colocados acima contribui para uma compreensão teórica da noção de perfil conceitual na forma como será proposto nesta dissertação. Ahamos conveniente começarmos essa discussão com os Domínios Genéticos (WERTSCH, 1985), apresentado uma visão geral a cerca de cada domínio e sua relação com os contextos que usamos na metodologia de proposição deste perfil conceitual. Depois, discutiremos sobre a noção do Perfil Conceitual e finalizamos nossa discussão com a apresentação dos compromissos epistemológicos e ontológicos que foram usados para proposição das zonas do perfil.

1.1 Domínios genéticos de Vigotski

Os domínios genéticos estão inseridos dentro da perspectiva sociocultural. Dentro dessa perspectiva, Vigotski (1998) aponta a importância da linguagem e as relações sociais como fatores determinantes para construção de significados. O pensador russo deixa claro que “enquanto não compreendermos a interrelação entre o pensamento e a palavra, não poderemos responder a nenhuma das questões mais específicas deste domínio, nem sequer levantá-las” (VIGOTSKI, 1988, p. 07). Além disso, Vigotski (1988) afirma que todas as atividades cognitivas básicas do indivíduo ocorrem de acordo com sua história social e acabam se constituindo no produto do desenvolvimento histórico-social de sua comunidade. Diante disso, trazendo ao âmbito do Ensino de Ciências, as ideias que os alunos apresentam na sala de aula (concepções informais), são resultado das atividades praticadas de acordo com os hábitos sociais da cultura em que o indivíduo se desenvolve. Várias são as implicações desse pensamento. Uma delas é o desenvolvimento do método genético, que aponta para a importância de saber onde e quando os significados são construídos para se conhecer o processo de formação dos conceitos.

Wertsch (1985) discute sobre as abordagens teóricas encontradas na obra de Vigotski. Segundo ele, três temas são o centro da estrutura teórica de Vigotski: a confiança num método genético; a ideia de que processos mentais superiores, em um indivíduo, tem suas origens em processos sociais e a consideração que os processos mentais podem ser entendidos somente se nós entendermos as ferramentas e signos mediados por eles. Além disso, Wertsch (1985) afirma que os processos mentais humanos só podem ser entendidos se considerarmos onde e quando eles foram desenvolvidos. Diante disso,

quando estudamos esses processos mentais, não devemos nos concentrar no produto do desenvolvimento, mas no processo pelo qual as funções mentais superiores são estabelecidas.

O método genético prevê a realização de um estudo na gênese dos conceitos, os quais são entendidos como produtos da ação humana, portanto possuem uma dimensão sócio-histórica, se constituindo como produtos inacabados, sujeitos a transformações e reformulações (WERTSCH, 1985). Com isso, em geral, as pesquisas sobre perfis conceituais deveriam envolver os diferentes domínios genéticos. Amaral e Mortimer (2006) afirmam que o perfil conceitual representa uma forma dinâmica de lidar com o processo de ensino-aprendizagem. O objetivo é apresentar um conceito particular como parte de um processo de construção humana, que tem as suas variações com o tempo e com o avanço do conhecimento. Neste sentido, os autores colocam que essa dinâmica inspira-se na abordagem proposta por Vigotski para o estudo da gênese de conceitos em diferentes domínios.

Segundo Wertsch (1985), Vigotski compara sua abordagem genética com outras que não levam em consideração os contextos de desenvolvimento. Ele argumenta que estas pesquisas podem nos dar descrições, mas não uma explicação de como os processos mentais superiores são desenvolvidos, fora do contexto no qual surgiram (ver a teoria piagetiana). Vigotski acredita que sem a análise genética somente é possível descrever certos aspectos do fenômeno psicológico, mas não se pode entender o interior das dinâmicas casuais (WERTSCH, 1985). Em seu método genético, o pensador russo imprimiu maior foco no processo de desenvolvimento tanto como eles normalmente ocorrem como também os efeitos de rompimentos e intervenções. Diante disso, Amaral e Mortimer (2006) afirmam que é necessário considerar o desenvolvimento das funções mentais superiores em todas as suas fases e mudanças e em diferentes domínios genéticos – filogenético, sociocultural, ontogenético e microgenético. A seguir apresentaremos uma breve discussão de alguns desses domínios genéticos, que estão implicados com o desenvolvimento deste trabalho.

1.1.1 Domínio Sociocultural

Segundo Wertsch (1985), o domínio sociocultural foi o primeiro domínio com ideias invocadas e discutidas por outros autores. Segundo o autor, Vigotski faz uma diferenciação entre esse e o domínio da filogênese.

O processo do desenvolvimento histórico do comportamento humano e o processo de evolução biológica não coincidem; um não é a continuação do outro. De preferência, cada um desses processos é governado pelas suas próprias leis (1930, p.71 apud WERTSCH, 1985, p.30 Tradução nossa).

O domínio filogenético diz respeito ao desenvolvimento de funções mentais superiores dentro da evolução de uma espécie. Por exemplo, habilidade como a linguagem e escrita foram desenvolvidas ao longo da evolução da espécie humana, por um grande período de tempo. Essas habilidades estão inseridas dentro de um domínio filogenético (WERTSCH, 1985).

Diante disso, a filogênese e o domínio sociocultural não podem ser diretamente associados. Neste domínio, a construção de conceitos e significados não é resultado de um processo evolutivo/adaptativo, mas ocorre em função do contexto e época em que o indivíduo está inserido.

No domínio genético sociocultural, Vigotski considera que a construção do conhecimento é produto das relações sociais (produção coletiva), influenciadas pela cultura e época. Diante de sua discussão, ele apresenta a mediação como um dos pontos principais dentro deste domínio (WERTSCH, 1985).

Para Vigotski, um conceito importante dentro do domínio sociocultural é o de descontextualização: “O foco na descontextualização de meios de mediação surge repetidamente nas considerações de Vigotski acerca das funções mentais superiores formadas no domínio sociocultural.” (WERTSCH, 1985, p.33. Tradução nossa). O autor afirma que podemos encontrar um exemplo do conceito de descontextualização nos estudos de Vigotski sobre operações quantitativas. Em sua investigação, Vigotski percebeu que formas de recenseamento observadas em povos primitivos dependiam fortemente do contexto. Com isso, o ato de recensear estava dentro de uma percepção de objeto concreto. Não havia uma descontextualização. Para Vigotski, descontextualizar é o ato de abstrair os significados dos objetos, desvinculando de uma interpretação

concreta. Esta capacidade de abstração também foi estudada em indivíduos alfabetizados e não-alfabetizados. Nesses estudos, Vigotski e Luria se concentraram na influência de instituições socioculturais (de uma determinada época) nas atividades cognitivas de indivíduos. Diante disso, segundo Wertsch (1985), a Ásia Central Soviética foi laboratório ideal para as pesquisas. Vigotski e Luria identificaram que sujeitos alfabetizados possuem uma capacidade maior de abstrair os significados de objetos. Indivíduos não-alfabetizados relacionavam os objetos sempre a significados concretos, com coisas que já conheciam e que faziam parte de seu dia a dia. Segundo Wertsch (1985), Luria observou que a capacidade de descontextualização também era maior em sociedades com estágio de evolução mais avançado. Ou seja, quando se muda o contexto, a capacidade de abstração também pode mudar.

1.1.2 Domínio Ontogénico

A ontogênese é entendida em contraposição à filogênese, mesmo que haja confusão entre ambas. Enquanto a filogênese trata da evolução biológica do homem através dos tempos, a ontogênese observa a evolução do indivíduo, desde o embrião, passando pelo nascimento, crescimento e morte. Os significados que o indivíduo constrói ao longo de sua vida fazem parte do domínio ontogenético.

Segundo Wertsch (1985), não se pode entender a abordagem de Vigotski apenas analisando o domínio ontogenético, pois este é formado por aspectos implicados em outros domínios. Isso não quer dizer que haja um paralelismo simples entre a ontogênese e os demais domínios. Além disso, Vigotski rejeita os argumentos, tais como aqueles em que a ontogênese é vista como uma recapitulação da filogênese (WERTSCH, 1985). Para ele, cada domínio envolve diferentes formas de desenvolvimento e são governados por explicações e princípios distintos.

O principal critério que Vigotski usa para distinguir o domínio ontogenético dos outros é o fato de que a ontogênese envolve simultaneamente operações interrelacionadas de mais de um modo de desenvolvimento. Isso quer dizer que a construção de significados deve ser considerada como um produto natural, social e cultural simultaneamente. Afinal, durante toda sua vida, o homem aprende e constrói seus conceitos a partir de

interações sociais, influenciadas pela sua cultura e fatores sociais. Diante disso, os significados construídos por um indivíduo se tornam parte de sua natureza.

1.1.3 Domínio Microgenético

Para finalizar a nossa discussão sobre os domínios genéticos, apresentamos a microgênese. Segundo Wertsch (1985), a compreensão de Vigotski acerca da microgênese é mais evidente em seus comentários sobre os procedimentos experimentais em psicologia. Ele argumentou que, ao realizar estudos de laboratório, o pesquisador deve, pelo menos, estar ciente dos processos microgenéticos envolvidos na formação e execução de um processo psicológico, os quais ocorrem na escala micro.

Segundo Wertsch (1985), a microgênese diz respeito a fenômenos e experiências de cada fenômeno psicológico. Cada um de nós, a partir da experiência, constrói significados para situações ou fenômenos que nos rodeiam. Em cada sujeito esse processo acontece de forma diferente e que só diz respeito a cada sujeito. Como cada fenômeno tem sua história, ele é considerado *micro*, pois não se refere ao desenvolvimento de forma global, mas sim na forma particular de um fenômeno.

A microgênese se difere dos outros domínios genéticos nos seguintes aspectos: na ontogênese e filogênese está implicado algum determinismo biológico (principalmente na filogênese), no qual todos os membros da espécie passarão por um processo similar geralmente pré-determinado. No domínio sociocultural, da mesma forma, há alguma influência de cunho cultural vinculada ao meio em que os sujeitos irão se desenvolver. Segundo Wertsch (1985), na microgênese temos uma maior abertura, pois ela é diferente para cada membro da espécie de forma a possibilitar que se desenvolvam processos relacionados com a particularidade de cada indivíduo. A microgênese faz com que sejamos diferentes um dos outros.

Diante disso, percebemos que na microgênese os significados são construídos de forma individual e única para cada sujeito. Não podemos dizer que duas pessoas constroem significados acerca de um conceito da mesma maneira. Na sala de aula, por exemplo, a aprendizagem de conceitos científicos ocorre numa escala microgenética, pois cada um aprende de uma maneira particular.

Mesmo Vigotski enfatizando a ideia de que os domínios são distintos, existe uma ligação entre eles. Segundo Wertsch (1985, p.29),

nós não pensamos que é possível colocar todos os processos ao longo de um *continuum*. Ao invés disso, propomos que cada tipo mais elevado de desenvolvimento começa onde o anterior termina e serve como sua continuação em uma nova direção. Esta mudança na direção e nos mecanismos de desenvolvimento, de modo algum exclui a possibilidade de uma ligação entre um processo e outro. Na verdade, isso pressupõe uma ligação entre os domínios (Tradução nossa).

A seguir, apresentamos a noção do perfil conceitual, com suas bases teóricas e o contexto em que surgiu. Além disso, apresentamos uma revisão de alguns trabalhos na literatura, em que perfis de conceitos químicos foram propostos.

1.2 A noção do Perfil Conceitual

A noção do perfil conceitual, proposta por Morimer (1995), inicialmente surge como uma ferramenta teórico-metodológica usada para estruturar os diversos significados atribuídos a um conceito e analisar a evolução conceitual na sala de aula. Segundo Mortimer (1995), a noção de perfil conceitual estabelece que um único conceito pode estar disperso entre vários tipos de concepções epistemológicas e apresentar características ontológicas também diversas. Essas várias concepções com características epistemológicas e ontológicas diversas podem conviver em um mesmo indivíduo e são aplicáveis em determinados contextos. As concepções existentes na proposição de um perfil conceitual são estruturadas em zonas, as quais correspondem a uma forma de ver a realidade e que podem conviver com formas diferentes num mesmo indivíduo, podendo, no entanto, haver predominância de certas zonas para um indivíduo específico (SOARES et al, 2007).

Uma característica importante acerca dos perfis conceituais é que seus níveis 'précientíficos' não são determinados por escolas filosóficas de pensamento, mas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos (MORTIMER, 2001). Diante disso, as ideias representadas pelos indivíduos sobre os conceitos estão fortemente influenciadas pela cultura. Mortimer (2001, p. 34) tenta definir o perfil conceitual “como um sistema supra-individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura”. O autor ainda coloca que apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente, as categorias pelas quais ele é

traçado - pelo menos no contexto da educação científica - são as mesmas para cada conceito. Mortimer (2001) coloca que:

A noção de perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, uma vez que é fortemente influenciado pelas experiências distintas de cada indivíduo; e dependente do conteúdo, já que para cada conceito em particular tem-se um perfil diferente. As categorias que caracterizam o perfil são fortemente ligadas ao contexto escolar na qual podem ser aplicadas e às perguntas que foram usadas para se ter acesso às ideias dos estudantes (p.34).

Entre as contribuições que o perfil conceitual pode oferecer ao ensino, Mortimer (2001) destaca que esta noção nos fornece elementos para entender a permanência das ideias prévias entre estudantes que passaram por um processo de ensino de noções científicas, visto que elas estão fortemente ligadas a um contexto. Além disso, muda-se a expectativa em relação ao destino dessas ideias, já que se reconhece que elas podem permanecer e conviver com as ideias científicas, sendo essas diferentes ideias usadas em contextos apropriados. (MORTIMER, 2001).

Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2007) ressaltam que esse modelo se fundamenta na ideia de que podem coexistir, para cada indivíduo, diferentes formas de pensar um mesmo conceito, as quais compõem um perfil, constituído por zonas identificadas com base em compromissos epistemológicos e ontológicos próprios de diferentes formas de compreender a realidade. Ainda segundo os autores, o modelo foi aplicado a diferentes conceitos, em sua maioria, nos campos da Física e da Química.

Na aplicação da noção de perfil conceitual a conceitos diversos, diferentes autores enfatizam características para o perfil de acordo com a especificidade dos seus trabalhos. Por exemplo, Silva (2006, p. 13), ressalta que essa noção se fundamenta no princípio de que um conceito pode abranger vários significados, sendo que a utilização desses significados é dependente do contexto. Esses significados incluem zonas científicas e não científicas e cada pessoa pode exibir um perfil conceitual próprio, relacionado às suas experiências e aprendizagens. Embora o perfil seja característico de cada indivíduo, as categorias que definem suas zonas podem ser consideradas como universais e potencialmente compartilháveis pelos indivíduos de uma cultura

Para Ribeiro (2002), a ideia de evolução de conceitos pode ajudar a conectar fronteiras. Considerando que os conceitos existentes, não só na química, mas em outras ciências

naturais não são únicos, e se encontram dispersos em perfis, podemos construir elos entre diferentes concepções. Segundo o autor, “ao colocar lado a lado, num mesmo perfil, concepções cotidianas e conceitos químicos clássicos e modernos, cria-se um quadro de referência que permite traçar a linha evolutiva dos conceitos (...)” (RIBEIRO, 2002, p.5).

Amaral (2004) aponta para a importância que essa noção pode adquirir na sala de aula, quando utiliza as diferentes concepções estruturadas em termos de um perfil conceitual para caracterizar a dinâmica discursiva entre alunos e professores. Diante disso, uma percepção das diferentes concepções que emergem em situações de ensino-aprendizagem pode ser útil para compreender a evolução das idéias dos alunos, uma vez que possibilita identificar como novas concepções adquiridas e podem coexistir com idéias anteriores (SILVA; AMARAL, 2006). A partir da noção do perfil conceitual é possível situar as idéias dos alunos num contexto mais amplo, no qual se admite a convivência das mesmas com o saber científico a ser ensinado (MORTIMER, 1996).

Para Mortimer (1996), as várias formas de pensar um conceito são influenciadas pelo contexto nos quais eles são aplicados, incluindo o contexto social e cultural do indivíduo. Portanto, podemos propor uma gênese para os conceitos, quando estes são considerados como parte de uma construção humana que ocorre em contextos históricos e sociais diversos. Nesse sentido, a proposta de perfil conceitual se insere na perspectiva sociohistórica do desenvolvimento e aprendizagem, com base nas ideias de Vigotski.

A perspectiva sóciohistórica de Vigotski vem contribuindo para vários estudos sobre o processo de significação em salas de aulas. Nessa perspectiva, os significados são vistos como polissêmicos e polifônicos criados na interação social e depois são internalizados pelo indivíduo (MORTIMER; SCOTT, 2002). A partir dessa definição, observamos a importância dada às interações sociais entre os indivíduos e à linguagem no processo de construção do conhecimento. É a partir das interações que atribuímos vários significados aos fenômenos. Nesse sentido, o processo de ensino-aprendizagem é visto como a incorporação de novos significados àqueles já existentes. Dentro da noção do perfil conceitual, essa incorporação é vista como uma construção de novas zonas (científicas) no perfil conceitual do aluno (MORTIMER, 1996). Segundo Amaral e

Mortimer (2006), a constituição de zonas de um perfil conceitual na sala de aula representa uma forma dinâmica de lidar com o processo de ensino-aprendizagem.

Amaral e Mortimer (2006) consideram que a caracterização das várias formas de entender um conceito em zonas pode ser feita a partir de estudos sobre a evolução histórica do conceito, da literatura sobre concepções informais dos estudantes e pela investigação em contextos de ensino-aprendizagem. No seu trabalho, esses autores discutem as zonas do perfil tomando por base o método genético de Vigotski, procurando trabalhar com pelo menos três domínios genéticos: sociocultural, ontogenético e microgenético (VIGOTSKI, 1930 apud WERTSCH 1985), de modo a privilegiar uma análise genética mais ampla. Segundo Amaral e Mortimer (2006), a diversidade de idéias e contextos considerados para a constituição das zonas do perfil representa uma forma dinâmica de lidar com o ensino-aprendizagem de conceitos que pretende se contrapor à forma estática e acabada muitas vezes utilizada nos contextos escolares. Diante disso, quando se trabalha com um conceito na sala de aula, o objetivo é apresentá-lo como parte de um processo de construção humana, que tem as suas variações com o tempo, contextos e com o avanço do conhecimento.

Podemos usar a proposta de Vigotski para o estudo da gênese de conceitos em diferentes domínios (WERTSCH, 1985). Amaral e Mortimer (2006) consideram que concepções associadas a diferentes domínios genéticos podem ser encontradas em um único contexto, mas em alguns contextos parece haver a predominância de ideias relativas a um domínio genético específico. Por exemplo, estudos sobre o desenvolvimento dos conceitos ao longo da história da ciência trazem um conjunto de ideias e concepções circunscrito às características culturais e sociais de uma época específica. Assim, a maior parte dessas concepções pode ser mais facilmente associada ao domínio genético sociocultural. No levantamento feito em trabalhos da literatura em Educação em Ciências, foram encontradas concepções informais de estudantes que tendem a se caracterizar em um domínio ontogenético. Como discutimos no tópico anterior, essas concepções são construídas ao longo da vida do indivíduo, portando influenciadas por fatores sociais e culturais. Para o domínio microgenético, Amaral e Mortimer (2006) observaram concepções que emergiam na sala de aula a partir da aplicação de uma sequência didática. Neste contexto, a observação foi focada na forma

como um grupo de estudantes construía significados para os conceitos estudados a partir das interações discursivas promovidas em sala de aula. Em nossa proposição do perfil conceitual, consideramos os mesmos domínios genéticos utilizados pelos autores.

Mortimer, Scott e El-Hani (2009) apresentam uma discussão mais complexa e atual sobre as bases teóricas do perfil conceitual, como um programa de pesquisa que tem continuidade e vem se ampliando e consolidando cada vez mais. Segundo os autores, o perfil conceitual pode ser concebido como uma maneira de modelar a heterogeneidade do pensamento e da linguagem em salas de aula de ciências. Em qualquer sala de aula, há uma inevitável heterogeneidade de modos de pensar e falar, que precisam ser modelados se tivermos a intenção de produzir alguma teoria sobre o ensino e a aprendizagem. Quando falamos que o perfil conceitual modela e organiza várias formas de pensar sobre o conceito, devemos pensar esses modos de pensar como elementos de permanência no pensamento conceitual dos indivíduos, intimamente relacionados a significados socialmente construídos que podem ser atribuídos aos conceitos (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009). Além disso, cada modo de pensar o conceito está associado a pelo menos um modo de falar. Segundo os autores, as zonas dos perfis conceituais, os quais representam a heterogeneidade de pensamento de um indivíduo, se diferenciam de pessoa para pessoa. Portanto

cada indivíduo tem um perfil conceitual próprio, que se diferencia dos perfis de outros sujeitos pelo peso dado a cada zona, e não pelas zonas propriamente ditas. As diferenças entre perfis resultam da diversidade da experiência social dos indivíduos, na medida em que esta pode oferecer mais ou menos oportunidades para empregar distintos modos de pensar nos contextos em que são pragmaticamente poderosos (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009, p. 6).

Aqui, ressaltamos a colocação de que ideias contidas dentro de uma determinada zona do perfil conceitual são úteis em um determinado contexto, que, segundo os autores, deve ser pragmaticamente poderoso, ou seja, implique em uma aplicação.

Diante disso, precisamos entender como o processo de ensino-aprendizagem é visto sob a óptica dos perfis conceituais. Para explicar isso, Mortimer, Scott e El-Hani (2009) apontam para dois processos, que estão interligados: (1) o enriquecimento dos perfis conceituais, ou seja, construção de novas zonas, que irão incorporar os novos

significados construídos pelos alunos; (2) a tomada de consciência da multiplicidade de modos de pensar que constituem um perfil e dos contextos nos quais estes modos de pensar e os significados que eles engendram podem ser aplicados de modo apropriado, i.e., que seja pragmaticamente poderoso (EL-HANI; MORTIMER, 2007 apud MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009).

No ensino de ciências, o primeiro processo diz respeito à compreensão de modos científicos de pensar os fenômenos, aos quais os estudantes geralmente, não tem acesso por outros meios. O segundo processo emerge da ideia central na abordagem dos perfis conceituais: a coexistências de várias concepções em um mesmo indivíduo. Diante dessa coexistência, um dos principais objetivos do ensino e da aprendizagem deve ser a promoção de uma visão clara, entre os estudantes, da delimitação entre modos de pensar e significados, bem como dos contextos de aplicação. Seria o que podemos chamar de tomada de consciência por parte dos alunos do perfil de concepções existentes acerca de um conceito, e a distinção entre elas, segundo os contextos de aplicação (pragmáticos). Diante disso, na sala de aula, o professor deveria discutir exemplos que mostrem o valor pragmático do modo de pensar científico no cotidiano e em outros contextos (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009).

Como já dissemos na introdução, a metodologia para proposição de um perfil conceitual tem sido proposta por vários autores que trabalham com o perfil e alguns pontos de consenso existem, ainda que cada trabalho tenha metodologia própria, adequada às especificidades do seu objeto de pesquisa. Cada zona do perfil conceitual proposta deverá incluir concepções que apresentam compromissos epistemológicos e ontológicos semelhantes, caracterizados por um pensamento filosófico específico.

1.2.1 Perfil Conceitual X Mudança Conceitual

Segundo Mortimer, Scott e El-Hani (2009) a noção do perfil conceitual foi inicialmente desenvolvida como uma alternativa ao modelo de mudança conceitual de Posner et al. (1982), recusando uma das idéias centrais deste modelo, a de que estudantes deviam ser levados a romper com suas concepções prévias ao aprender ciências.

Segundo Coutinho (2005), a década de 80 foi o apogeu em pesquisas envolvendo as concepções alternativas e modelos de mudança conceitual. Para ele, “a principal preocupação era estudar como as concepções alternativas dos estudantes poderiam ser modificadas, por exemplo, por meio da criação de conflitos entre essas concepções e resultados experimentais ou entre diferentes estruturas cognitivas relacionadas aos mesmos fatos” (COUTINHO, 2005, p.16).

Com os estudos realizados a cerca das concepções alternativas, observou-se que essas encontram semelhanças com ideias científicas. Portanto, o modelo de mudança conceitual nasce numa tentativa de transpor para sala de aula modelos filosóficos aplicáveis às mudanças conceituais ocorridas na história da ciência. Essa proximidade reforça a crença de que as idéias alternativas das crianças poderão ser transformadas em idéias científicas, desde que expostas a situações de conflitos, normalmente propiciadas por "experimentos cruciais" (MORTIMER, 1996). Hewson (1981), Posner et al (1982), Mortimer (2000) e Carvalho et al (2004) apontam algumas condições básicas para que a mudança conceitual ocorra: o aluno perceber limitações e contradições de suas ideias em relação ao conhecimento científico estudado; a insatisfação com os conceitos existentes; a nova concepção se mostrar inteligível e se mostrar plausível, além de ser frutífera. Porém a mudança conceitual não é garantida. Segundo Mortimer (2000), esses autores afirmam que quando o aluno se depara com um novo conhecimento, podem ocorrer duas possibilidades: a nova ideia pode ser incorporada às já existentes, sem exigir uma modificação muito profunda ou, a nova concepção sendo contraditória, ela não será plausível, uma vez que “concepções conflituosas não podem ser, simultaneamente, plausíveis em uma mesma pessoa”, (HEWSON; THORLEY, 1989, p.543 apud MORTIMER, 2000, p.38).

Com o passar dos anos, o modelo de mudança conceitual foi recebendo críticas e assim sendo, sofrendo um desgaste. Segundo Mortimer (1996), alguns autores reconheceram a impossibilidade de efetivar esse tipo de mudança que resultaria na substituição das idéias iniciais dos alunos. Entre eles, Chi (1992) e Linder (1993).

É nesse contexto de crítica ao modelo de mudança conceitual que encontramos a ideia de perfil conceitual, ou seja, a idéia de que as pessoas podem apresentar diferentes maneiras de ver e representar o mundo, que são usadas em contextos diferenciados.

Diante disso, o aluno não é obrigado a substituir sua concepção alternativa pela visão científica, mas, novos significados (científicos) vão sendo incorporados a outros já existentes.

Veremos como o perfil conceitual pode cobrir as lacunas deixadas pelo ensino por mudança conceitual, analisando os trabalhos revisados no próximo tópico, em que um estudante aprende o conceito científico porém o mesmo apresenta outras formas de pensar. Ou seja, a aprendizagem do conceito usado no contexto da ciência não significou a substituição da ideia anterior, a qual é útil em outro contexto.

Diante dessa discussão, vemos que é necessário que não haja uma mudança conceitual, mas sim uma tomada de consciência de um perfil conceitual, além da demarcação entre suas zonas. Isto implica que o indivíduo seja capaz de aplicar uma ideia científica nos contextos em que ela é apropriada, inclusive na vida cotidiana, e, ao mesmo tempo, preservar modos de pensar e falar distintos do científico nas situações em que se mostrem pragmaticamente apropriados. Trata-se de uma coexistência entre diferentes modos de pensar e falar (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009).

1.2.2 Alguns perfis conceituais propostos na literatura

A seguir apresentamos de forma resumida alguns perfis conceituais, na área da Química, propostos na literatura em Ensino de Ciências.

1.2.2.1 Um perfil conceitual para o conceito de átomo e estados físicos da matéria

O primeiro perfil conceitual proposto na literatura foi o de átomo e estados físicos da matéria (MORTIMER, 1995/2000). Neste perfil, o autor propôs quatro zonas para o conceito de átomo. Na primeira, temos visões sensorialistas da matéria, em que o indivíduo apresenta concepções ingênuas, baseadas em fatores sensoriais. Uma das ideias desta zona, por exemplo, é que a matéria é contínua. A segunda zona diz respeito a ideias substancialistas. Nessa zona, a pessoa substancializa a concepção de átomo, atribuindo às partículas propriedades de substâncias e materiais, como a capacidade de dilatar-se e ou de mudança de estado físico. Na terceira zona do perfil, encontramos concepções clássicas da matéria. As ideias desta zonas possuem um caráter mais racional, baseadas numa visão microscópica da matéria. O átomo é visto como uma

partícula material, governada pelas leis da mecânica clássica. Na última zona do perfil, encontramos concepções com um nível maior de racionalidade. Deste modo, o conceito de átomo é explicado com base nas leis da mecânica quântica. Assim, temos uma visão quântica moderna acerca do átomo e os estados físicos da matéria.

1.2.2.2 Um perfil conceitual para o conceito de molécula

Depois do perfil conceitual de átomo e estados físicos da matéria, outros conceitos ganharam um perfil conceitual. Mortimer (1997) propôs um perfil conceitual para o conceito de molécula, no qual temos quatro zonas. A primeira diz respeito aos “princípios”. Com base na Filosofia Clássica, as concepções dessa zona revelam um forte compromisso realista. Segundo as concepções dessa zona, todas as coisas eram formadas por determinados materiais (elementos ou substâncias) que combinados davam forma à Natureza. Se baseando nas ideias de Aristóteles, o autor argumenta que na filosofia grega se imaginava que cada ser possuía um princípio primordial. Para Mortimer (1997), a ideia dos princípios materiais e não-materiais influenciaram por quase 2 mil anos, sendo muito evidente na alquimia. A segunda zona contém concepções substancialistas. Semelhante ao perfil de átomo, nessa zona, a molécula contém todas as propriedades da substância que ela compõe. Além disso, concepções em que há uma substancialização de coisas abstratas, como energia, também são categorizadas na zona substancialista de molécula. Segundo o autor, este tipo de concepção é encontrada, inclusive, em *Handbooks* de Química. Por exemplo, o autor afirma que ‘Calor latente de fusão’ e ‘capacidade calorífica’ são exemplos da substancialização da energia na linguagem da química. Além disso,

frequentemente nos referimos a alimentos ou a combustíveis como materiais que têm energia armazenada nas suas ligações químicas. Livros didáticos de Bioquímica explicam que energia (substancializada) é liberada quando uma ligação P-O é quebrada numa molécula de ATP. A definição de molécula citada na maioria dos *handbooks* e dicionários - “a menor quantidade unitária de matéria que pode existir por si mesma e que retém todas as propriedades da substância original (CRC Handbook of Chemistry and Physics)” (MORTIMER, 1997, p. 203).

Na próxima zona temos as concepções de moléculas com um certo nível de racionalidade, sendo concebida pela Química Clássica como a menor parte da substância, sem que haja mudança em sua natureza. Segundo o autor, essas concepções

tem origem na Grécia Antiga, com o atomismo de Demócrito (460 – 370 a.C). Essas ideias só vieram a ser difundidas quase 2 mil anos depois com os trabalhos de Boyle, Newton e Dalton. Na última zona, temos a Química Moderna como base de explicação do conceito de molécula. Nessa zona, não temos a molécula com uma geometria fixa, bem definida, como na zona anterior, mas há a concepção de que ela está sempre mudando no espaço. Além disso, temos estruturas que na química clássica não é concebível, como por exemplo os clusters da nanociência. O perfil conceitual de substância proposto nessa dissertação apresenta semelhanças com o perfil do molécula. Algumas zonas são próximas e concepções acerca dos dois conceitos apresentam compromissos epistemológicos e ontológicos parecidos.

1.2.2.3 Um perfil conceitual para o calor

Amaral e Mortimer (2001) propuseram um perfil conceitual para o conceito de calor. Nesse perfil foram propostas as zonas: realista, empírica, substancialista, animista e racionalista. Na zona chamada realista, os autores abordaram as idéias de calor a partir de sensações. Segundo os autores, as primeiras noções de calor estavam vinculadas à sensação térmica de quente e essa forma de compreensão ainda pode ser facilmente encontrada em situações do cotidiano. Nessa zona, são encontradas concepções mais ingênuas acerca do conceito, nas quais se predomina a intuição e as sensações mais diretas. Na zona animista, como o nome sugere, o calor é apresentado como uma substância viva e com a capacidade de dar vida. Na história da química, essa zona está respaldada na idéia de que o calor teria o poder de dar vida a objetos. Bachelard (1938/1996) afirma que as ideias animistas chamam a atenção para o uso da “intuição ofuscante que considera a vida como um dado claro e geral” (p.185), que faz com que “qualquer outro princípio esmaça quando se pode invocar um princípio vital”. “A vida marca as substâncias que anima com um valor indiscutível” (p.192). Os autores encontraram respaldo na história da Química a partir dessas concepções que se encontram com maior frequência no século XVIII. Amaral e Mortimer (2001) justificaram a proposição de uma zona substancialista do calor, na qual ele é tratado com uma substância inerte, a partir de concepções filosóficas, desde aquelas vindas de Aristóteles e Platão até autores que davam ao fogo o estatuto de substância. Além disso, apresentaram resultados de pesquisas sobre concepções de alunos, realizadas por

Erickson (1985) e Silva (1995), mostrando que alguns alunos consideram o calor como algum tipo de fluido. Para os autores, a idéia substancialista do calor ainda sobrevive na linguagem e práticas da Química e da tecnologia (AMARAL; MORTIMER, 2001). Para a proposição da zona empírica, os autores consideraram a concepção de calor relacionada com as medidas de temperatura. Do ponto de vista histórico, isso se origina nos períodos em que ocorreu o desenvolvimento do termômetro, e o seu uso hoje resulta em concepções de alunos nas quais a temperatura é vista como a medida de calor de um corpo (SILVA, 1995). E, finalmente, quando é apresentada a concepção do calor como proporcional à diferença de temperatura, a partir de uma relação matemática, é definida a zona racionalista. Para os autores, nessa zona “o calor poderá ser visto como uma forma de energia que se manifesta a partir do contato entre dois corpos a temperaturas diferentes” (AMARAL; MORTIMER, 2001, p.15).

1.2.2.4 Um perfil conceitual para entropia

Algumas outras proposições de perfis conceituais buscam um rompimento gradativo com as categorias unicamente epistemológicas para as zonas e incluem novas discussões na categorização de diferentes formas de pensar os conceitos. Nesse sentido, podemos citar o trabalho de Amaral e Mortimer (2004) na proposição de um perfil conceitual para entropia e espontaneidade dos processos químicos e físicos. Para construção das zonas do perfil conceitual, foram considerados diversos contextos como a história da ciência, investigação educativa em ciência e dados de sala de aula. Três níveis de compreensão foram propostos para a formação das zonas: nível perceptivo/intuitivo (zona perceptiva/intuitiva), nível empírico (zona empírica) e nível teórico (zona formalista e zona racionalista). Na primeira zona apresentada pelos autores (perceptiva/intuitiva), as idéias estão relacionadas com as impressões e sensações imediatas do indivíduo diante dos fenômenos, que favorecem manifestações inconscientes e subjetivas (BACHELARD, 1978). Na história da ciência, os autores encontraram esse tipo de concepção nas idéias de Aristóteles sobre o motor primordial e na literatura em educação, algumas concepções encontradas por Anderson (1986) e Rosa e Schnetzler, (1998), mostram explicações sobre transformações químicas como uma propriedade intrínseca do material. A zona empírica considera idéias que surgem a partir da discussão de experimentos ou fenômenos nos quais resultam em condições

para que o processo ocorra naturalmente. Estas condições seriam físicas (temperatura, pressão, etc) e aquelas estabelecidas pela expressão de variação de entropia do universo. Na zona racionalista, é considerado um nível teórico de compreensão para a espontaneidade. Esta zona compreende idéias que implicam na distribuição de energia a nível atômico-molecular. Neste caso, a idéia refere-se a uma direção preferencial para a ocorrência de um processo, dependendo de um conjunto de condições estabelecidas. Na zona formalista, é considerada uma série de expressões e convenções matemáticas. Para saber se o processo é espontâneo ou não, são usadas equações matemáticas que nos indicam o valor da ΔS ou ΔG ($\Delta G = \Delta H + T\Delta S$).

1.2.2.5 As transformações químicas e o perfil conceitual

Solsona et al (2003), ao investigar idéias de estudantes do ensino secundário de Barcelona, identificaram diferentes zonas e perfis conceituais para o conceito de reações químicas. Os alunos foram acompanhados durante um ano (antes, durante e depois de verem a unidade referente ao conceito). Depois de aplicado um questionário, os autores dividiram as respostas em categorias e subcategorias. A partir da combinação das mesmas, foram propostas quatro zonas (*profiles*): *interactive*, *meccano*, *kitchen* e *incoherent*. Na primeira zona (*interactive*), os alunos apresentam um bom entendimento do conceito, no qual são considerados aspectos macroscópicos e microscópicos na explanação do conceito. As zonas *meccano* e *kitchen* representam visões no nível microscópico (ligações, átomos, interações) e macroscópico (comportamento das substâncias, fenômenos químicos) respectivamente. Na zona *incoherent* os alunos apresentam um desconhecimento do assunto, não sabendo explicar o que era solicitado no questionário. Depois da unidade de reações químicas, foi aplicado mais um questionário para observar a evolução do perfil dos alunos.

1.3 Compromissos epistemológicos e ontológicos das concepções relativas a conceitos científicos

Neste tópico, discutiremos, basicamente, as ideias de Bachelard contidas em duas de suas obras: *A Filosofia do Não* e *A Formação do Espírito Científico*. Nesses dois livros o autor apresenta visões distintas acerca do mesmo tema. Em *A Formação do Espírito Científico*, as diferentes concepções que entram em conflito com a visão científica, o

autor denomina de obstáculos epistemológicos. Segundo ele, esses obstáculos estavam presente em todo desenvolvimento da ciência, e foi por meio da superação deles que a ciência se desenvolveu. Para Bachelard, esses obstáculos ainda existem hoje e estão presentes na sala de aula. Segundo o autor, a construção do conhecimento científico se dá através da superação desses obstáculos. Já nos livros *A Filosofia do Não* Bachelard trata essas diferentes formas de pensar os conceitos como necessárias para entender o desenvolvimento da ciência em toda sua complexidade. Mesmo sendo obstáculos, ele admite a convivência dessas concepções com outras mais sofisticadas, compondo o que ele chama de Perfil Epistemológico (BACHELARD, 1940/1984), noção em que o perfil conceitual foi inspirado. Segundo ele, um conceito deve ser interpretado por vários pontos de vista filosóficos, os quais correspondem à zonas com compromissos realistas, empiristas, animistas e etc.

A seguir apresentamos alguns compromissos epistemológicos Bachelard (1940/1984) e Bachelard (1938/1996) que fundamentam a proposição de alguns perfis conceituais e que nos auxiliaram na constituição das zonas do perfil conceitual de substância.

1.3.1 Compromissos epistemológicos

A maior parte das propostas de perfil conceitual encontradas na literatura toma por base a discussão da epistemologia histórica proposta por Bachelard (1940/1984) Em sua proposta do perfil epistemológico, Bachelard considera que todo conhecimento científico está disperso em diferentes tipos de pensamentos filosóficos. Esses tipos de pensamento constituíam vários níveis de entendimento. Para ele uma única escola filosófica não seria suficiente para descrever todas as diferentes formas de pensar, quando se tenta expor e explicar um simples conceito (BACHELARD, 1940/1984). O progresso científico, em toda sua complexidade, não consegue ser explicado por apenas uma escola filosófica. Portanto, para explicar esse progresso, Bachelard estruturou idéias relativas a diferentes escolas filosóficas numa ordem em que as concepções representadas em cada uma delas representassem formas de pensar das mais simples a mais complexas. As concepções ingênuas, de escolas filosóficas menos complexas, Bachelard caracterizou como obstáculos à formação do espírito científico. De forma resumida, iremos apresentar um pouco dessa discussão tomando por base o trabalho de Amaral (2004), quando propõem zonas para diferentes perfis conceituais.

1.3.1.1 Realismo

De uma forma geral, Bachelard (1996) apresenta compromissos realistas sob diversas denominações e aqui nos deteremos a duas delas: a experiência primeira e o realismo ingênuo. Para o autor, a postura realista pode ser “buscada nas experiências mais íntimas do homem, sendo o seu princípio baseado nas preferências indestrutíveis formadas no inconsciente humano” (AMARAL, 2004, p.2). Em uma zona do perfil conceitual, isso poderia corresponder às concepções fundamentadas em observações e experiências vividas pelo indivíduo, sem o mínimo de questionamento ou reflexão. O fenômeno é aceito a partir de sua aparência fantástica, aparentemente sem explicação, causando sentimento de espanto a quem o vê.

O realismo ingênuo é entendido como uma primeira experiência. Para Bachelard, a experiência primeira se apóia no sensualismo declarado ou não declarado (BACHELARD, 1938/1996). Para ele, a partir dessa experiência, colocada antes e acima da crítica, são constituídos conhecimentos frágeis e não formam uma base segura. São idéias intuitivas que negam qualquer tipo de esforço da racionalidade, como mostra Bachelard (1938/1996 p. 61) ao apresentar o significado do verbete ‘cinza’ na *Encyclopédie* de Becker:

Queira Deus... que eu tenha amigos que me façam esse último favor; que um dia convertam meus ossos, secos e esgotados pelo longo esforço, em uma substância diáfana, que permaneça inalterada pelos séculos afora e conserve sua cor genérica, não o verdor dos vegetais, mas sim a cor do ar do trêmulo narciso; o que pode ser obtido em poucas horas.

A linguagem intuitiva, mística, subjetiva e poética substitui a linguagem científica, clara e objetiva para a definição e compreensão do que sejam as cinzas. É importante ressaltar que esse posicionamento de Bachelard resultou em críticas sobre a sua tendência em valorizar o conhecimento científico racional acima dos outros, o que foi defendido por outros estudiosos dos trabalhos do autor.

1.3.1.2 Substancialismo

Para Bachelard (1938/1996), a idéia substancialista é um dos maiores obstáculos ao progresso do pensamento científico. Para ele, este tipo de compromisso epistemológico é constituído por intuições muito dispersas que nascem em um espírito pré-científico que atribui qualidades à substância (AMARAL, 2004). É um tipo de pensamento

realista, que é caracterizado ao materializar entidades que não são corpos e nem matéria. Para o autor, existem três tipos de substancialismo:

- Substancialismo do oculto: é caracterizado como uma explicação por meio das qualidades ocultas, na qual são usados artifícios que ameaçam a cultura. A aquisição do conhecimento é feita a partir de palavras eruditas, as quais deixam satisfeitas as mentes preguiçosas;
- Substancialismo do íntimo: é o que o autor chama de ‘mito do interior’. Nesse caso, a idéia substancialista vem atrelada à idéia de continência. Ou seja, é necessário que algo contenha e que a qualidade profunda esteja contida. Isso eleva a importância e valorização do interior. Para Bachelard, essa idéia esteve presente na mentalidade alquímica e ilustra esse tipo de substancialismo a partir de experiências feitas por Poleman (BACHELARD, 1938/1996, p.124): “O duplo corrosivo conseguiu revirar o cobre e passou o seu interior para fora, tornou-se apto, não somente a liberar a sua alma, mas também, pela virtude desse corrosivo, a alma suave do cobre tornou-se luzidia, como em um meio ressuscitativo”. Observamos com a citação acima a importância que Poleman dava à substância ‘duplo corrosivo’ que vivia no interior do cobre, como se fosse a alma do metal.
- Substancialismo da qualidade evidente: para Bachelard, esse tipo de substancialismo refere-se à “substancialização de uma qualidade direta”. Ou seja, os fenômenos são tomados de forma imediata, apenas de forma descritiva sem criar relação com outros objetos a não ser a respectiva substância, e são explicados como sinal de uma propriedade substancial. O autor apresenta alguns exemplos a partir de experimentos de Priestley sobre a natureza elétrica e Boerhaave (1752 apud BACHELARD, 1938/1996, p.137) sobre a qualidade da água:

A teoria de Boyle sobre a atração elétrica era que o corpo elétrico lançava emanação viscosa que ia apanhando pequenos corpos pelo caminho e os trazia com ela, ao voltar ao corpo de onde tinha saído. A água é tão suave... que aplicada nas partes do corpo em que a sensação é mais delicada... não provoca nenhuma dor... a água também não produz nenhuma sensação desagradável, nem um novo odor na membrana do nariz, que é um tecido de nervos quase descobertos. Enfim, uma prova de sua grande suavidade é que

todos os tipos de ácidos, diluídos numa boa quantidade de água, perdem a acidez natural que os torna tão nocivos ao corpo humano.

1.3.1.3 Racionalismo

Ao analisar os fenômenos de forma crítica e abstrata, temos o que Bachelard chama de compromisso racionalista. Para ele, o racionalismo (como doutrina filosófica) foi fragmentado para melhor fundamentar a fenomenologia. Dessa forma, Bachelard assinala dois casos de racionalismo: a partir da definição do racionalismo *a priori* que deve valer para todas as experiências e do racionalismo integral ou integrante. No racionalismo *a priori*, a forma racional do pensamento se apresenta como válido para toda experiência, inclusive passada e futura, arrogando-se ao direito de atingir uma experiência do universo. Nesse caso, são formuladas as condições de um consenso geral para todos os homens, lugares, tempo e qualquer fenômeno (AMARAL, 2004). O racionalismo integrante é instituído após estudos organizados dos diversos racionalismos regionais. Para Bachelard, esse caso de racionalismo é dialético diante das estruturas apresentadas pelos racionalismos regionais no sentido em que se deve decidir sobre que estrutura melhor informa a experiência.

Para a formação de um espírito científico racional, Bachelard (1938/1996) ressalta a importância do erro, da argüição, das tentativas, discussão, reflexão, formulação de hipóteses e no esforço da mente para explicar um fenômeno dentro de um determinado problema. É nesse sentido que ele fala “erro, não é um mal” (BACHELARD, 1938/1996, p.298) e usa as palavras de Enriques em seu livro *Signification de l’histoire de la pensée scientifique* (Significação da história do pensamento científico): “Reduzir ao erro uma distração da mente cansada significa considerar apenas o caso do contador que enfileira números. O campo a explorar é bem maior quando se trata do verdadeiro trabalho intelectual” (BACHELARD, 1938/1996, p.298).

Portanto, o espírito científico é construído, em sua forma racional, num processo no qual encontramos, por exemplo, a investigação científica. É num processo de investigação que encontramos questões problemáticas a serem resolvidas. É necessário existir um problema para haver a construção do conhecimento, afinal “é o *sentido de problema* que caracteriza o verdadeiro espírito científico. Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver

conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é gratuito. Tudo é construído”. (BACHELARD, 1938/1996, p.18).

Segundo Bachelard (1940/1984), no racionalismo, a noção simples dá lugar a uma noção complexa. Ainda afirma que apenas em alguns casos essa noção complexa pode ser simplificada. Essa simplificação, segundo o filósofo, se dá no abandono de determinadas sutilezas e eliminação de variações delicadas (BACHELARD, 1940/1984). Imaginamos que neste caso, voltaríamos às noções realistas.

Nas construções racionais *a priori*, o número das funções internas da noção multiplica-se (BACHELARD, 1940/1984). Isso quer dizer que o racionalismo se multiplica e pluraliza. Diante disso, o filósofo afirma que o racionalismo tradicional é abalado pela utilização múltipla das noções elementares. É neste sentido que introduziremos o próximo compromisso epistemológico que foi usado em nossa construção do perfil: ultra-racionalismo.

1.3.1.4 Racionalismo dialético

“Mas o racionalismo contemporâneo não se enriquece apenas por uma multiplicação íntima, por uma complicação das noções de base; anima-se também numa dialética de certo modo externa que o realismo é importante para descrever e inventar” (BACHELARD, 1940/1984, p. 19). É desta forma que Bachelard inicia o tópico em que apresenta o pensamento ultrarracional. Ao apresentar o perfil epistemológico do conceito de massa, o filósofo francês nos exemplifica o ultrarracionalismo, o qual pode ser entendido como forma de pensar mais complexa a qual vai de encontro com todas as outras, dentro de um jogo dialético.

Neste trabalho, além dos compromissos epistemológicos apresentados por Bachelard, para a proposição das zonas tivemos que ampliar a discussão usando ideias de outros autores. A seguir, veremos o essencialismo como outro compromisso epistemológico que nos ajudou a construir as zonas do perfil conceitual de substância. Analisaremos o pensamento de Lakoff (1987) acerca da metodologia clássica de categorização e como ela se relaciona com as propriedades de um objeto e o pensamento essencialista.

1.4 O essencialismo e a metafísica objetiva

Segundo Lakoff (1987), o essencialismo está inserido dentro de uma visão de mundo que representa uma visão metafísica da realidade. Segundo esse modo de ver a realidade, todas as coisas são constituídas de entidades, que têm propriedades fixas (LAKOFF, 1987). Para o autor

Essencialismo: entre as propriedades que as coisas têm, algumas são essenciais; isto é, existem aquelas propriedades que fazem as coisas serem o que são e sem as quais não seria esse tipo de coisa. Outras propriedades são acidentais, isto é, são propriedades que acontecem, não são propriedades que capturam a essência da coisa (LAKOFF, 1987, p. 161. Tradução nossa).

Nessa perspectiva, o autor coloca o essencialismo dentro da teoria clássica de categorização, a qual ele define como um processo em que se agrupam entidades de uma mesma propriedade ou conjunto de propriedades em comum. Cada propriedade é necessária e suficiente para definir a categoria (LAKOFF, 1987).

Lakoff (1987) afirma que existem tipos naturais de entidades no Mundo, cada qual cria uma categoria baseada nas propriedades essenciais em comum, isto é, propriedades que as coisas têm pela sua virtude natural. Segundo o autor, alguns exemplos dados desta doutrina das coisas naturais, geralmente são de coisas que existem na natureza, como animais, plantas e minerais. Já os artefatos feitos pelos homens podem tanto ter propriedades essenciais como propriedades sintéticas (LAKOFF, 1987). Ou ainda, “espécies biológicas são coisas naturais, definidas como propriedades essenciais” (LAKOFF, 1987, p. 9. tradução nossa).

Como relacionar o essencialismo com compromissos epistemológicos a fim de criar uma zona do perfil conceitual? Coutinho (2005), baseado nas discussões de Lakoff (1987), ao propor um perfil conceitual para o conceito de vida, cria uma categoria a partir de concepções coletadas em diversas fontes de pesquisa. Segundo o autor

Outra forma de definição (para o essencialismo) esperada é aquela que se baseia em listar propriedades e encarar essas propriedades como sendo condições necessárias e suficientes para que algo possa ser nomeado como vivo. Por fazer referência a condições necessárias e suficientes, chamamos essa categoria de essencialismo”. (COUTINHO, 2005, p. 30).

Diante disso, neste trabalho, vemos a relação existente entre as propriedades de uma entidade em questão, a substância, e a dependência desta para que as coisas (naturais, parafraseando Lakoff) existam ou atuem na natureza. Ressaltamos que o que define o

essencialismo como uma categoria epistemológica é a relação propriedade – dependência, que faz com que a entidade ou suas propriedades sejam essenciais para um determinado objetivo. A epistemologia de Lakoff nos mostra que este tipo de visão acompanha a teorica clássica de categorização, que foi muito usada e até hoje usamos em nosso dia a dia, mesmo de forma inconsciente, o que faz com que percebamos que o essencialismo se torna um compromisso epistemológico presente em diversos modos de pensar.

Citando ideias filosóficas, Coutinho (2005) argumenta que a doutrina essencialista se iniciou com Platão e Aristóteles. Segundo o autor, Platão e a concepção de que os entes particulares estão fundados nas essências (*eidōs* ou ideias) e que eram as verdadeiras realidades estão dentro de uma postura essencialista. Já Aristóteles exprimiu a doutrina essencialista na sua ideia dos quatro elementos e na matéria *hylé*, segundo a qual toda a natureza foi formada e tudo o que existe é a coisa individual (substância). Diante disso, percebemos que as ideias platônicas e aristotélicas são baseadas na concepção de que as coisas encontram nas essências suas formas ontológicas, ou seja, o que possibilita a existência de uma determinada coisa enquanto tal é a sua essência (COUTINHO, 2005).

Isso possibilita uma discussão interessante com relação às primeiras concepções sobre substância, quando consideramos o essencialismo como categoria que pode caracterizar algumas das concepções sobre este conceito, como veremos nos próximos capítulos. Com esta discussão, encontramos suporte teórico para a proposição de zonas para o perfil do conceito de substância.

1.5 Diferentes ontologias

Algumas concepções podem se diferenciar de outras não somente pelos aspectos epistemológicos, mas também ontológicos. Para diferenciarmos concepções de ontologia diferentes, utilizamos a discussão apresentada por Chi (1992) em seu trabalho em que categoriza conceitos em termos da sua natureza ontológica.

A autora propõe três categorias básicas ontológicas: matéria, eventos e abstrações. Segundo Chi (1992), existem duas formas de determinar a realidade intrínseca das categorias ontológicas. Primeiramente, a autora cita que existe um grupo de leis físicas ou restrições que determinam atributos ontológicos de cada categorias ontológicas. Por

exemplo, objetos categorizados como matéria possuem algumas restrições que ditam seus comportamentos e propriedades que possam ter. Além disso, possuem atributos ontológicos tais como cor, peso e podem ser estocáveis. Em contrapartida, eventos não possuem esses atributos ontológicos. A autora usa a definição de Sommers (1971) como uma propriedade que uma entidade tem o potencial de tê-la. As cores, por exemplo, algumas entidades podem ter, como papel, casa ou livro. Já guerra ou dor não podem ter esse atributo.

A segunda maneira que temos para capturar a realidade de categorias ontológicas é mostrar que entidades em uma distinta categoria ontológica não pode ser transformada fisicamente a partir de uma outra categoria. Operações não físicas podem ser transformadas em outras entidades em uma categoria ontológica para entidades em uma outra. Por exemplo, um homem (matéria) podem participar de uma corrida (evento) a partir de uma operação física (correr). Mas o homem preserva sua identidade ontológica.

Segundo a autora, categorias ontológicas podem ser determinadas empiricamente para serem psicologicamente real e distintas. Diante do que discutimos, as características das categorias ontológicas são (CHI, 1992, p. 131):

- Matéria: “é vermelho”, “é pesado”, “tem volume”, “ocupa espaço”, “tem massa”;
- Eventos: “é em uma hora”, “aconteceu ontem”, “relâmpagos”;
- Abstrações: “é verdade”, “é sobre X” (sonho).

1.6 O pragmatismo de William James

Ainda nos resta um aporte teórico para discutir. Quando levantamos várias concepções a cerca de um conceito científico, a variedade encontrada pode ultrapassar as fronteiras que determinamos para as zonas do perfil. Quando isso ocorre, devemos definir alguns critérios para escolher aquelas concepções que farão parte do perfil conceitual. Para isso, usamos o método pragmático de William James.

Pragmatismo vem do grego – *pragma* – que quer dizer ação (JAMES, 1974). Dela, deriva nossa palavra prática. É uma doutrina filosófica que defende a ideia de que os

objetos, para terem sentido, devem ter uma consequência prática no mundo real. Podemos dizer que essa doutrina filosófica teve origem com John Dewey, o qual inspirou as ideias de William James, que discutiremos neste tópico.

Segundo Tiballi (2003), o pragmatismo surge no final do século XIX, sob a forte tensão que se colocava entre a filosofia e a ciência moderna, tendo seus princípios sistematizados pelas críticas ao racionalismo alemão e ao empirismo inglês. A autora ainda afirma que ele surgiu no momento da consolidação da sociedade americana, após a guerra civil.

Segundo Dewey (2003), na nossa vida sempre temos que fazer escolhas. Porém, esse processo de escolha não é arbitrário, mas baseado em alguns critérios, ou seja, estas escolhas passam por um método de avaliação o qual diz respeito às consequências práticas dessas ideias em nossas vidas. Assim sendo, o conhecimento é um instrumento para a ação. O pensamento de John Dewey, além de inspirar pensadores com William James, teve grandes consequências na área pedagógica. Dewey defendia um saber operatório. Diante disso, segundo ele, o conhecimento trabalhado nas escolas deveria ser voltado à aplicação na vida cotidiana, preparando os alunos para aplicarem tal conhecimento. Dewey também defendeu esse tipo de ensino na universidade, a fim de fazer com que a ciência fosse um instrumento de desenvolvimento da sociedade.

Dewey (2003) fez uma crítica à antiga concepção de que a razão e o saber são esferas independentes da ação, a tal ponto que outras visões filosóficas recusam reconhecer as suas doutrinas e suas implicações. Segundo ele, essa doutrina do conhecimento operatório tem consequências objetivas. Ela implica que as estruturas e os objetos que a ciência e a filosofia opõem aos objetos e aos eventos da experiência concreta do cotidiano não se constituem um domínio separado da satisfação da contemplação racional. Segundo Tiballi (2003, p.05), na sua obra "*Lógica teórica da investigação*", Dewey tenta elucidar suas ideias e fornece uma das definições do pragmatismo, na preocupação de que as ideias pragmatistas fossem mal interpretadas:

(...) Porém no sentido genuíno do "pragmático", a saber, a função que incumbe as consequências como provas necessárias da validade das proposições, sempre que estas consequências se tenham alcançado operativamente e sejam tais que resolvam o problema específico que suscita as operações, o livro que segue é absolutamente pragmático. (DEWEY, 1950, p.04 apud Tiballi, 2003, p.05).

Mortimer, Scott e El-Hani (2009, p.09) propõem o uso do método pragmático na proposição de perfis conceituais:

Pragmatistas buscam explorar as conseqüências de nosso conhecimento sobre o mundo ser necessariamente moldado, ao menos em parte, pelos conceitos que nós mobilizamos para a tarefa de descrever e explicar o mundo. Uma das principais conseqüências deste reconhecimento do papel dos conceitos em nossas atividades cognitivas reside na impossibilidade de se aceitar alguma relação simples entre conhecimento e realidade, de acordo com a qual a mente poderia ser uma espécie de espelho do mundo.

Nessa perspectiva, consideramos que o conhecimento é aplicado no mundo real de acordo com seu grau de utilidade. Deste modo, aqueles conceitos que usamos no dia-a-dia são pragmáticos ao se tornarem úteis em nossas atividades e o mesmo ocorre em sala de aula. William James, em uma de suas obras, explica que o método pragmático é primariamente, um método de assentar disputas metafísicas que, de outro modo, se estenderiam interminavelmente: “É o mundo ou muitos? Predestinado ou livre? Material ou espiritual? Eis aqui noções, quaisquer das quais podem ou não ser verdadeiras para o mundo; e as disputas em relação a tais noções são intermináveis”. (JAMES, 1974, p.10). O método pragmático, nesses casos, tenta interpretar cada noção, traçando as conseqüências práticas respectivas.

Diante disso, vemos que o pragmatismo permite a resolução de problemas, nos quais mais de uma ideia pode co-existir (principalmente aquelas conflitantes). Elas terão sentido para o indivíduo de acordo com as conseqüências no mundo real que elas causam. Assim sendo várias “verdades” podem existir para um ou diferentes indivíduos dependendo do grau de utilidade. Deste modo, James (1974) sustentou a ideia de que as “ideias” se encontram somente no plano das conseqüências. Se não há efeitos ou conseqüências práticas no mundo real, é porque estas idéias não têm sentido para o indivíduo.

Mortimer, Scott e El-Hani (2009) apontam para a importância de diferenciar a corrente pragmatista de um relativismo em que “vale tudo”, principalmente quando relacionamos esta doutrina filosófica com o perfil conceitual e o conhecimento em geral. Não devemos olhar para o pragmatismo como uma doutrina relativística, em que tudo vale. Podemos dizer que se trata de um relativismo objetivo, no qual, para a escolha da

“verdade” se deve por um processo de avaliação, o qual é necessário a consideração de vários critérios:

Se enfocarmos, em particular, a preocupação epistêmica com o significado e a verdade, o pragmatismo filosófico pode ser caracterizado, em termos gerais, pela idéia de que a eficácia na aplicação prática oferece um critério ou padrão para a determinação da verdade dos enunciados (Rescher, 1995). Assim, não se trata de que pragmatistas simplesmente rejeitem a noção da verdade como algum tipo de relação entre conhecimento e realidade; sua intenção é, antes, esclarecer o significado de tal relação mediante um apelo às ações, embora haja substancial variação entre os pragmatistas quanto ao modo de realizar tal esclarecimento (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009, p. 9).

Colocando a ideia de critérios para determinação de uma verdade, estamos fugindo da ideia de relativismo, a qual pode ser confundida com a filosofia pragmatista. A intenção não é relativizar as coisas e dizer que tudo está certo ou tudo é verdade. Porém, a proposta do método pragmatista reside em escolher determinadas concepções/ideias/conceitos de acordo com determinados critérios, os quais se apoiam em questões operatórias. Diante disso, uma ideia pode ser mais válida que outra, dependendo da pessoa ou contexto de aplicação de tal ideia. Motta (2006, p.1) coloca que

a verdade em essência sempre esteve presente, mas ao passo em que ela nos é desconhecida é uma verdade sem significado e que só passa a ser verdade quando a praticamos, por isso a verdade só se confirma quando podemos proclamá-la: a verdade possível e alcançável para nós está implícita na nossa realidade.

Mas quais seriam esses critérios para escolha de concepções? De antemão, podemos dizer que isso dependerá da subjetividade e individualidade de cada pessoa. Mortimer, Scott e El-Hani (2009) colocam que a ideia de que a utilidade é um critério central para os juízos sobre o conhecimento. Diante disso, não se pode afirmar que vale tudo em nossos esforços de usar o conhecimento para decidir como agir em circunstâncias específicas. Os autores ainda colocam que há um número limitado de ideias e modos de pensar que podem ser bem sucedidos em situações específicas, o que faz com que a escolha fique mais criteriosa.

No próximo capítulo, apresentaremos a metodologia que utilizamos nesta dissert

CAPÍTULO 2

Metodologia de proposição do perfil conceitual de substância

A proposta do perfil conceitual neste trabalho foi feita a partir de uma abordagem metodológica de natureza qualitativa. A nossa preocupação foi analisar a natureza das concepções levantadas nos diversos contextos a fim de identificar compromissos epistemológicos e ontológicos entre as mesmas, e, deste modo, propor as zonas do perfil conceitual.

Como já dissemos na introdução desta dissertação, a proposição de um perfil conceitual segue uma metodologia única, presente em diversos trabalhos. A seguir, apresentaremos uma discussão acerca dessa metodologia e detalharemos as etapas de nossa pesquisa, apontando os instrumentos utilizados além dos sujeitos de pesquisa.

Mortimer, Scott e El-Hani (2009) discutem que devemos estar atentos ao caráter da metodologia usada na construção de perfis conceituais, para que as investigações sejam consideradas, de fato, como parte deste programa de pesquisa. Em primeiro lugar, os autores destacam que, para propor um perfil conceitual, é necessário considerar uma grande diversidade de significados atribuídos a um conceito e uma variedade de contextos de produção de significados, incluindo, ao menos, três dos quatro domínios genéticos propostos por Vigotski. A busca de dados relativos à produção de significados nestes domínios diz respeito à importância em identificar compromissos ontológicos/epistemológicos para individualizar as zonas do perfil conceitual. Mortimer, Scott e El-Hani (2009) destacam que para buscar esses compromissos é necessário considerar a variedade de fontes, de maneira dialógica e não sequencial. Como aponta Coutinho (2005), as zonas são constituídas a partir de um jogo dialógico entre os dados obtidos nos estudos empíricos e bibliográficos. Entre as fontes que são usadas para o levantamento de dados, de acordo com Mortimer, Scott, El-Hani (2009) estão: (1) fontes secundárias sobre a história da ciência e análises epistemológicas sobre o conceito em estudo, que são particularmente instrumentais na compreensão da produção de significados no domínio sociocultural e no estabelecimento de compromissos ontológicos e epistemológicos que norteiam os processos de significação de um conceito; (2) trabalhos sobre concepções alternativas de estudantes, que são úteis

para compreender a significação dos conceitos no domínio ontogenético; e (3) dados colhidos através de entrevistas, questionários e filmagens de interações discursivas numa variedade de contextos de produção de significados, particularmente em situações educacionais, que dão acesso aos domínios ontogenético e microgenético.

Na construção e caracterização das zonas, usamos os compromissos epistemológicos de Bachelard, a discussão de Lakoff e a ontologia discutida por Chi (1992), os quais já foram apresentados em nossa fundamentação teórica. Para esta etapa, Mortimer, Scott e El-Hani (2009) enfatizam que a construção das zonas do perfil vai além da categorização do discurso escrito ou oral, embora tipicamente envolva este procedimento. Segundo eles, a necessidade de ir além da categorização se torna clara quando se considera que as zonas de um perfil são individualizadas por meio de compromissos ontológicos e/ou epistemológicos que estruturam diferentes modos de pensar e falar sobre um conceito, e estes não são dados que apareçam explicitamente em declarações ou proposições (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009). Outro ponto importante que os autores colocam, e achamos relevante destacar aqui, é a subjetividade do pesquisador ao interpretar os dados. Segundo eles, a obtenção e interpretação dos dados obtidos nas fontes citadas são entendidas em termos de um processo de diálogo estruturado pelas intenções e procedimentos do investigador. Assim, em nenhum momento as evidências são entendidas como “dados brutos”, a partir dos quais se poderiam obter categorias e, subsequentemente, compromissos ontológicos e epistemológicos de modo indutivo. É a interpretação do investigador, munido das hipóteses que o diálogo entre suas fontes de dados lhe permite formular, trabalhar tais compromissos e, assim, individuar zonas de um perfil (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009).

Diante disso, a metodologia deste trabalho foi dividida em quatro etapas - duas etapas que dizem respeito à coleta dos dados e duas etapas relacionadas com a análise dos mesmos:

- Coleta de dados:

- 1ª Etapa: pesquisa bibliográfica – teve como objetivo buscar concepções sobre substância na História da Química, em textos de filosofia e concepções prévias/alternativas de alunos e professores na literatura sobre Educação Química.

- 2ª Etapa: pesquisa empírica – teve o objetivo de levantar concepções e buscar compreender como estudantes do nível médio e superior entendem o conceito de substância. Nesta etapa, foram utilizadas algumas ferramentas da metodologia proposta por Coutinho (2005) em sua tese de Doutorado, defendida na Faculdade de Educação da UFMG. Deste modo, utilizaremos dois instrumentos para essa etapa: questionário e entrevista semi-estruturada que incluem a apresentação de situações específicas sobre o conceito.

Como proposto por Amaral e Mortimer (2006), o levantamento desses dados foi feito tomando por base os domínios genéticos sociocultural, ontogenético e microgenético, que já foram discutidos na fundamentação teórica. Com os dados coletados fizemos a análise dos dados, como descreveremos a seguir.

- Análise dos dados.

- 3ª Etapa: seleção das concepções que farão parte das zonas do perfil conceitual em forma de modos de falar e categorias. Para isso, usamos como critério o pragmatismo de William James, discutido em nossa fundamentação teórica. Foram escolhidas para compor o perfil conceitual aquelas concepções que se apresentaram com potencial pragmático para o processo de ensino-aprendizagem do conceito de substância em aulas de Química: aquelas concepções sobre substância que são mobilizadas no dia-a-dia para resolver tarefas e que podem emergir na sala de aula e aquelas consideradas relevantes no desenvolvimento do conceito cientificamente aceito para substância.

- 4ª Etapa: proposição das zonas do perfil conceitual, levando em consideração os compromissos epistemológicos e/ou ontológicos das categorias propostas na etapa anterior.

2.1 Detalhamento das etapas de pesquisa

Nas etapas descritas observamos que a coleta e análise de dados funcionam como uma “via de mão dupla”, pois no momento da coleta, podemos perceber compromissos epistemológicos e ontológicos implicados nas concepções, o que nos ajudou a fazer uma análise inicial dos primeiros dados e esboçar as primeiras categorias para as zonas do perfil.

Antes da coleta definitiva de dados, realizamos uma pesquisa piloto, que foi importante para a proposição preliminar de algumas categorias e tentar identificar as relações entre as concepções e os domínios genéticos. Os resultados desta pesquisa piloto, contribuíram para validar o primeiro questionário aplicado e para a elaboração do roteiro da entrevista semi-estruturada (SILVA; AMARAL, 2009, 2010). Lembramos que esta etapa piloto foi feita no início da pesquisa bibliográfica, que incluiu a revisão de alguns artigos e textos da História da Química e respostas a um questionário aplicado a alunos e professores de Química. Assim, esboçamos as primeiras categorias além de verificar a natureza de algumas concepções informais de alunos e professores.

2.1.1 Coleta de dados

Na coleta de dados, procuramos levantar concepções em diferentes fontes, a fim de obter uma grande variedade de ideias relativas ao conceito de substância, considerando diferentes contextos. As fontes usadas foram: textos da História da Química, investigação em textos filosóficos, artigos em Educação Química e levantamentos de concepções informais coletadas através de questionários e entrevistas a alunos do nível médio e superior de ensino.

2.1.1.1 Pesquisa bibliográfica

Alguns critérios foram considerados para a escolha das fontes de pesquisa, tanto na história da ciência como nos trabalhos da literatura. Os mesmos critérios foram usados para a escolha de textos da filosofia. Esses critérios foram:

- Livros que abordassem especificamente a História da Química;
- Texto que tomam por base fontes primárias (fontes secundárias);

- Alguns textos de fontes primárias.

Diante disso, buscamos concepções acerca do conceito de substância em diversas épocas a partir de livros de História da Química, Filosofia, artigos de História da Química, Epistemologia e alguns trabalhos originais, como Lavoisier (1789), Canizzaro (1884/1991) e *A Metafísica* de Aristóteles.

Já para a escolha dos artigos em que levantamos concepções de alunos sobre o conceito de substância, usamos o critério de que tenham sido publicados em periódicos ou anais de eventos nacionais e internacionais de relevância na área. Escolhemos artigos que não somente abordavam o conceito de substância, mas também conceitos como matéria, elemento, energia e etc, pois em todos o conceito de substância é abordado.

A importância neste levantamento, mesmo realizando uma pesquisa empírica com os alunos, é observar e confirmar a existência de concepções que se assemelham para diferentes indivíduos em diferentes contextos e períodos históricos, confirmando que existem certos padrões entre as concepções espontâneas, às vezes, independentemente da diversidade cultural e etnias (CONFREY, 1990; DRIVER, 1985; DRIVER ET AL., 1994). Assim, segundo Amaral e Mortimer (2006), estamos diante de concepções com forte predominância no domínio ontogenético, pois fazem parte de uma construção intuitiva e subjetiva, certamente também influenciadas pelo contexto e vivência de cada aluno.

2.1.1.2 Pesquisa empírica

Em nossa pesquisa empírica, usamos basicamente a proposta de Coutinho (2005) no que diz respeito aos instrumentos de coleta. Em sua tese de doutorado, o autor procurou desenvolver uma metodologia para avaliar a ocorrência de zonas do perfil conceitual de vida em indivíduos que foram escolhidos como sujeitos da pesquisa. Em sua tese, foram utilizados dois instrumentos de coleta de dados: um questionário e uma entrevista, nos quais foram colocadas situações problema para os estudantes se posicionarem sobre as mesmas. Neste trabalho, adaptamos o formato da entrevista, para que na mesma fossem usadas apenas situações, não necessariamente dentro dos padrões de uma situação-

problema. Ou seja, são colocações mais simples e não necessariamente problematizadas para o questionamento mais forte ao aluno.

2.1.1.2.1 Questionários

O questionário que elaboramos para aplicação aos sujeitos de pesquisa se fundamentou na discussão teórica apresentada por Viggiano e Mattos (2007). Segundo os autores, ao se elaborar um questionário, o mesmo deve delimitar e favorecer o surgimento das zonas. Essa é uma característica necessária de um questionário elaborado para identificar zonas de um perfil conceitual. Segundo Viggiano e Mattos (2007), ao assumir uma relação mais explícita entre perfil conceitual e contexto é necessário que o instrumento de levantamento dos perfis conceituais leve em conta o estabelecimento dos contextos de forma a identificar o uso das zonas de perfil conceitual. Diante disso, os contextos devem ser levados em consideração ao se propor qualquer ferramenta para identificação de zonas de um perfil conceitual.

Diante da proposta de Viggiano e Mattos (2007), cada pergunta do questionário deve delimitar uma zona do perfil conceitual e, conseqüentemente, também o seu contexto de uso. Desse modo, o questionário pode contemplar e proporcionar a emergência de, na melhor das hipóteses, todas as zonas do perfil conceitual. Com esta afirmação, podemos entender que devemos ir para a pesquisa empírica com alguma noção sobre as zonas que poderão ser propostas. Assim, ressaltamos que as zonas vão sendo continuamente constituídas ao longo da coleta de dados, em um processo de diálogo articulados desses dados com a fundamentação teórica, ou seja, compromissos epistemológicos/ontológicos já discutidos. Dessa forma, coleta e análise dos dados funcionam como uma “via de mão dupla”, com algumas zonas já aparecendo durante as etapas iniciais da coleta, mas que estão sujeitas a reformulações e novas proposições no decorrer da pesquisa.

Da mesma maneira, Coutinho (2005), ao propor um perfil conceitual para o conceito de vida, afirma:

tanto para a formulação do questionário como para a análise das respostas, o autor já havia feito um considerável levantamento da bibliografia sobre vida. Assim, o mais correto seria afirmar que a elaboração das zonas do perfil foi

realizada em um jogo dialético entre o estudo teórico e o levantamento empírico. (COUTINHO, 2005, p.25).

Então, concluímos que, na etapa de elaboração e aplicação dos questionários, o autor é influenciado pelos dados que já possui (obtidos na pesquisa bibliográfica) o que permite construir um questionário segundo a proposta de Viggiano e Mattos (2007), que contemple o surgimento de todas as zonas do perfil conceitual. Deste modo, podemos entender que os dados encontrados na pesquisa empírica podem avaliar e corroborar com as zonas já identificadas nos estudos na História da Química e na literatura sobre ensino de Química e *vice-versa*. Os autores ainda enfatizam que para elaborar um questionário é necessário que as questões possuam uma base ou raiz comum. Esta raiz ou complemento é a responsável pela definição das regras de reconhecimento e enquadramento implicando em regras de realização que definem o uso de uma ou outra zona do perfil conceitual. Investigando concepções de licenciandos em Física acerca de determinados conceitos, utilizando questionários elaborados dessa forma, os autores identificaram que o contexto se modifica de uma questão a outra e os estudantes utilizam as zonas sem prestar a atenção na consistência das respostas. Isso indica que utilizam as zonas do perfil dentro de um determinado contexto, mesmo que de forma contraditória. Diante disso, vemos que com o questionário podemos ir além da categorização e coleta de concepções, podendo ser uma ferramenta que nos permita identificar o uso (in)discriminado das concepções.

Para este trabalho, primeiramente fizemos um estudo piloto, a fim de verificar a eficiência em levantar concepções referentes às zonas do perfil de substância. Após a aplicação e análise deste piloto, elaboramos um questionário definitivo, com 9 perguntas referentes ao conceito de substância, segundo a proposta de Viggiano e Mattos (2007) e aplicamos aos sujeitos de pesquisa.

2.1.1.2.2 Entrevista semi-estruturada

Coutinho (2005), em sua coleta de dados, utilizou situações-problema, tomando por inspiração o trabalho de Scribner (1984). Segundo o autor, situações-problema são estruturas narrativas com lacunas que impõem certas mobilizações cognitivas para o entrevistado. Diante disso, para solucionar determinado problema, o indivíduo deve mobilizar vários conceitos. Porém, em nossa entrevista, não usamos situações-

problema, e sim situações mais simples que pudessem promover uma mobilização de concepções, referentes ao conceito de substância, para explicar e se posicionar com relação a cada situação colocada. Assim, pudemos observar o surgimento de concepções de substância relacionadas com o domínio microgenético. A entrevista composta por 5 situações foi aplicada apenas aos alunos do Ensino Médio, devido à impossibilidade de aplicação aos licenciandos. Deste modo, 10 alunos do Ensino Médio, do Colégio de Aplicação da UFPE, participaram da entrevista de forma coletiva (em dois grupos de 5 alunos cada), a qual foi registrada em áudio e vídeo para posterior análise. A entrevista foi realizada em dois momentos distintos, com os dois grupos, em um intervalo de 1 semana entre as duas entrevistas. A professora das turmas selecionou os alunos e os classificava como eficientes. Uma entrevista também foi realizada com os alunos da Rede Estadual, porém, por motivos técnicos e operacionais, não foi possível realizar a análise.

2.1.1.2.3 Sujeitos de pesquisa

Nossa pesquisa empírica envolveu estudantes do ensino médio e licenciandos em Química, atingindo um de 89 sujeitos investigados.

O questionário foi aplicado a 72 alunos do ensino médio, de faixa etária entre 15 e 18 anos, sendo 50 do Colégio de Aplicação da UFPE (25 do 2º ano e 25 do 3º ano) e 22 do 2º ano de uma escola da Rede Estadual de Ensino de Pernambuco. Ambas as escolas são situadas na cidade de Recife. O Colégio de Aplicação da UFPE é considerada uma das melhores escolas do Brasil, obtendo a maior média no ENEM 2010¹. A coleta de dados nessas escolas foi realizada entre os meses de agosto e setembro de 2010.

Também participaram de nossa pesquisa 17 alunos do curso de Licenciatura Plena em Química da UFRPE, do turno da tarde, de faixa etária entre 20 e 25 anos. Os alunos estavam cursando 7º período do curso e todos estavam tendo ou já tinham tido alguma experiência de ensino. Além disso, a maioria dos estudantes são de origem da Rede Pública de Ensino de Pernambuco.

¹ http://www.ufpe.br/agencia/index.php?option=com_content&view=article&id=37607:colegio-de-aplicacao-da-ufpe-alcanca-maior-media-no-enem-em-pernambuco&catid=288&Itemid=72

2.1.2 Análise dos dados – construção das zonas do Perfil

Uma etapa importante em nossa análise foi a identificação daquelas concepções que são pragmáticas, as quais deveriam constituir as zonas do perfil conceitual. Dessa forma, excluimos aquelas ideias que, por exemplo, só tiveram importância em uma determinada época da História, mas que hoje não exercem influência no processo de significação em sala de aula ou mesmo não encontram nenhuma referência para a vida cotidiana (idéias animistas da Idade Média referente às substâncias, por exemplo).

Com os dados da pesquisa empírica, identificamos diferentes modos de falar, que representam modos de pensar. Estes modos foram agrupados em categorias, com base na semelhança entre eles. Aquelas concepções que não tinham como categorizar ou estavam erradas não apresentavam valor pragmático, portanto não houve como associar a um modo de pensar. Uma vez com as categorias em mãos, agrupamos as mesmas em função dos compromissos epistemológicos e ontológicos que apresentavam, fazendo um cruzamento com os dados coletados na etapa bibliográfica da pesquisa. Desta forma, chegamos nas seguintes zonas para o perfil conceitual de substância:

- Zona Essencialista;
- Zona Generalista;
- Zona Substancialista;
- Zona Racionalista;
- Zona Relacional.

Dando início à apresentação dos dados coletados em nossa pesquisa, no próximo capítulo apresentaremos os dados levantados referentes aos textos históricos e da filosofia.

CAPÍTULO 3

O conceito de substância – problematização, desenvolvimento histórico e epistemologia

Neste capítulo apresentamos aspectos do desenvolvimento histórico do conceito de substância, levantando algumas concepções que estavam presentes no pensamento pré-científico e científico em determinadas épocas. Dessa forma, encontramos ideias que podem ser incluídas no domínio genético sociocultural, principalmente relacionados a épocas, tais como: Idade Antiga, Idade Média e séculos XVII, XVIII, XIX e XX.

As concepções sobre substância que levantamos em textos da História da Química, são ideias que predominaram durante um determinado período e foram compartilhadas pela sociedade do seu tempo, refletindo a cultura e valores da mesma. Com esse estudo, podemos contribuir para a compreensão da gênese deste conceito, de modo a possibilitar uma visão mais ampla dos processos de significação em diferentes contextos e épocas, promovendo assim uma possível articulação entre domínios genéticos distintos (AMARAL; MORTIMER, 2006).

Ao levantar concepções sobre substância em diversos contextos históricos também pudemos identificar momentos de ruptura do modo de pensar este conceito. Segundo Silveira (2005) o desenvolvimento das formas de pensar o conceito de substância passa por três momentos importantes: substância metafísica, substância empírica e substância ultra-racional. De acordo com Silveira (2003), na Antiguidade, a substância era pensada de forma ingênua e generalizada (substância metafísica). Depois, na Idade Média, ela passa a um nível de racionalidade com o advento da balança, com as primeiras diferenciações na química entre elemento e substância, mesmo ainda sofrendo influências das concepções metafísicas (substância empírica). Por último, o conceito passa a uma forma dialetizada dentro do campo de estudos da mecânica quântica (substância ultra-racional).

O que gostaríamos de destacar neste capítulo é que tais momentos não são precisamente datados quanto ao seu início e fim, uma vez que podemos verificar uma coexistência desses vários compromissos epistemológicos e ontológicos com relação ao conceito, mesmo após uma grande quebra de paradigmas que ocorreu entre os séculos XVII e

XVIII. Podemos dizer que o conceito de substância, assim como o de elemento, possuem raízes epistemológicas nas ideias filosóficas, com grande influência de Aristóteles. Porém, entre os séculos XVII e XVIII, o conceito filosófico de substância seguiu o seu caminho epistemológico no campo da filosofia, e é discutido até os dias atuais, e tivemos o nascimento do conceito químico de substância química, que seguiu um caminho próprio em termos epistemológicos, dissociando-se em parte das concepções filosóficas, numa espécie de ruptura ou quebra de paradigma. Portanto, o que temos hoje, é a convivência da substância filosófica e da substância química, sendo que esta última ainda sofre influência da primeira.

3.1 Em busca da substância

Segundo Menegazzo (2003, p.1): “a palavra *substantia* corresponde ao verbo *substare* que significa ‘aquilo que está debaixo de’”. A ideia de substância nasce em um contexto filosófico e metafísico, longe de uma definição científica, empírica e racional como existe em maior predominância hoje no contexto da Química. Para Silveira (2003, p. 55), as “especulações filosóficas sobre a existência ou ‘essência’ de todas as coisas poderiam estar relacionadas a um possível início da ideia sobre substância”. Tal concepção percorreu toda a história do pensamento ocidental desde Aristóteles (384-322 a.C.) até Descartes (1596-1650). Outros significados foram associados à ideia de substância ao longo da história e vinculados a contextos diversos, como o contexto químico e o senso comum.

Buscamos fazer um breve panorama histórico do desenvolvimento deste conceito, começando pela apresentação de algumas concepções que nasceram na Idade Antiga. Neste tópico, nos deteremos principalmente àquelas ideias que surgiram na filosofia e discutidas por Aristóteles, por entendermos que são mais frequentes em nosso dia-a-dia.

3.1.1 Substância na Idade Antiga (4000 a.C ~ 500 d.C)

Desde tempos remotos que o homem transforma a matéria para utilizá-la em seu benefício. Um grande número de substâncias químicas, como óxidos de cobre, ferro e zinco; alumínio, sulfatos de cobre e ferro; sulfitos de arsênico e mercúrio e produtos vegetais e animais, incluindo corantes, eram conhecidos desde o Período Clássico, além

de algumas simples operações químicas (PARTINGTON, 1989). Estas técnicas foram despertando no homem a curiosidade em saber mais e mais a respeito da natureza da matéria.

Partington (1989) afirma que as concepções subjacentes às definições dos elementos e substâncias foram alcançados somente após séculos de esforço. Para Leicester (1967), não se pode dizer que a química como ciência se iniciou antes do séc. XVI, pois somente a partir dessa época é que os homens aprenderam a diferenciar as distintas substâncias e as mudanças que experimentavam sob a influência do calor e de solventes reativos. Portanto, em povos da antiguidade, o máximo que se fazia era classificar diferentes materiais. Nesta classificação, percebemos que o conceito de material, elemento e substância se confundiam, mesmo ainda não existindo uma definição formal para os mesmos. Um exemplo disso, podemos encontrar na classificação feita pelo alquimista egípcio Zósimos (300 d.C): para ele, os materiais se classificavam em “corpos” e “espíritos”. Essa classificação era realizada a partir da natureza desses materiais. Os “corpos” eram os metais e “espíritos” eram certas substâncias que são, pela razão de sua natureza peculiar, invisíveis. Então para ele vapores de arsênico, enxofre e mercúrio eram espíritos. Na classificação de Zósimos, o metal estava na mesma classe do ar (mistura): ambos sendo materiais (PARTINGTON, 1989). Um outro exemplo dessa classificação vemos na definição do *electrum*. No Egito, a maior parte do ouro utilizado inicialmente continha quantidades variáveis de prata. Quando esta quantidade era alta, resultava em ouro branco, que no princípio era considerado como um metal diferente, o ‘*asem*’, e que logo os gregos e romanos chamaram de *electrum* (LEICESTER, 1967). Ou seja, uma mistura de dois metais (*electrum*) era considerada como um metal diferente, ou seja, uma nova substância. Dados mostram que uma das primeiras substâncias a serem utilizadas por povos da Mesopotâmia e Egito foi o ferro de origem meteórica (ferro encontrado nos meteoros que caíam na superfície terrestre). Devido a isso, os egípcios o chamavam de *boa-em-pet* ou ferro do céu, no período de ‘Hicsos’ (1680-1580 a.C) (LEICESTER, 1967). Os metais em geral eram amplamente utilizados por esses povos para a fabricação de diversos artefatos. A extração dessas substâncias era considerada uma tarefa sagrada (GOLDFARB, 2003). Devido a isso, a manipulação desses metais era influenciada por misticismo e religiosidade. Para os babilônios, por exemplo, tanto os deuses como os planetas se

relacionavam com os distintos metais (LEICESTER, 1967). Para Partington (1989), o metal dominado por cada planeta variava de uma época para outra ou de escritor para escritor.

Em contraposição à Leicester (1967), Partington (1989) afirma que é de consenso geral que a química teve sua origem por volta do início da era Cristã, na cidade de Alexandria, no Egito, que foi fundada por Alexandre O Grande no delta do Nilo em 331 a.C. Alexandria tinha uma população miscigenada, com nativos egípcios, gregos, sírios e judeus, mas era essencialmente influenciada pela cultura grega (PARTINGTON, 1989). A filosofia grega misturada com a astrologia egípcia se degenerou em misticismo, ocultismo e magia o que permitiu o surgimento de doutrinas “religiosas” como gnosticismo nos primeiros séculos da era Cristã. Com a inserção da cultura grega nos vários povos que formavam a cidade de Alexandria, o pensamento sobre a matéria começou a ir mais além de uma simples classificação, pois concepções “avançadas” a cerca da natureza dos materiais, desenvolvidas na filosofia grega, começavam a influenciar o manuseio das substâncias e materiais nesses povos.

3.1.1.1 Substância na filosofia

As primeiras noções sobre substância na filosofia nasceram em especulações sobre a origem do Universo. A fórmula do pensador grego não era a experimentação, mas a especulação (LEICESTER, 1967). Nessas especulações, em busca de conhecer a essência e origem do mundo, concepções acerca da natureza da matéria foram surgindo. Não podemos dizer que isso foi uma exclusividade do povo grego. Essas especulações surgiam, também, em povos como os da Babilônia:

em uma tentativa de compreender a origem das coisas, o homem se vê forçado a admitir a criação, não a partir do nada, mas a partir de uma substância primordial. A ideia do nada é difícil de conceber. É mais fácil e cômodo admitir uma matéria primeira, talvez desorganizada e caótica, mas relacionada de algum modo com coisas familiares. Assim, os babilônios imaginavam o mundo criado a partir da água (Tradução nossa) (LEICESTER, 1967, p.14)

No contexto grego, podemos dever as primeiras noções à Escola Jônica, fundada por Tales de Mileto (639-546 a.C.). Enquanto pitagóricos, por exemplo, acreditavam que tudo tinha surgido a partir da perfeição existente entre os números e suas relações, os jônicos acreditavam que tudo tinha surgido a partir de um elemento primordial.

Segundo Aristóteles (2006)², a maioria dos filósofos, como os jônicos, ao especular sobre a origem do Universo, concebeu apenas princípios materiais para todas as coisas:

Aquilo de que todas as coisas consistem, de que procedem primordialmente e para o que, por ocasião de sua destruição, são dissolvidas em última instância, permanecendo a essência, ainda que modificada por suas afecções – isso, dizem, é um elemento e princípio das coisas existentes. Daí acreditam que nada é gerado ou destruído, uma vez que essa entidade primária conserva-se sempre (ARISTÓTELES, 2006, p.50).

Essa entidade primária, que se conserva, mesmo após todas as mudanças e transformações, Aristóteles, mais a frente, chamaria de substância, o que ainda é bem diferente da substância atual do contexto da Química. Porém, antes dele, outros filósofos que procuraram definir o que seria essa entidade. Como já apresentamos, para Tales de Mileto esse princípio permanente era a água, razão pela qual afirmava que a terra flutuava sobre ela. Segundo Aristóteles (2006), Tales chegou nessa conclusão ao observar que o nutriente de tudo é úmido, e que o próprio calor é feito de umidade. Diante disso, a água seria o primeiro princípio da natureza de coisas úmidas. Mas Aristóteles também atribui esta ideia a especulações sobre os deuses. Segundo a mitologia grega, o Oceano (personificação divina da água) e Têris, a esposa do Oceano, teriam sido os pais de toda criação. Para Aristóteles, esta ideia ganhava força por ser antiga, afinal, segundo o filósofo “aquilo que é o mais antigo, é o mais reverenciado, e o que é mais reverenciado, é aquilo pelo que juramos” (ARISTÓTELES, 2006, p.51).

Anaximandro (610 - 547 a.C.), discípulo de Tales, também natural de Mileto, sul da Jônia, colônia grega, acreditava que o *aiperon* era a substância que dava origem a todas as coisas. Anaxímenes (611-545 a.C), também discípulo de Tales, concordava com a ideia de Anaximandro. Porém, para ele, o *aiperon* era o “ar”, o qual considerava como a substância primária. Assim como a água de Tales e o *aiperon* de Anaximandro, esta substância originava e conservava alguma semelhança com o caos primitivo a partir do qual as forças físicas produziram o mundo visível (LEICESTER, 1967). Porém para Anaxímenes e Diógenes, o ar vinha antes da água. Além disso, eles afirmavam que de todos os corpos simples, o ar era o mais primordial (ARISTÓTELES, 2006).

² A *Metafísica* - Conjunto de obras originalmente escrita no século IV a.C.

Empédocles (490-435 a.C) considerava o “ar” como uma simples transição entre a água e o fogo. Ao aceitar o fogo como um companheiro igual à água e o ar, conferiu ao mesmo um lugar no mundo material, superior ao de um gás; o fogo passou a ser uma substância etérea que, por sua rapidez, podia muito bem ser atribuída ao corpos celestes, como faria Aristóteles pouco tempo depois (LEICESTER, 1967). Também numa tentativa de propor um princípio primordial, vemos as ideias de Anaxágoras, Leucipo e Demócrito. Eles atribuíam a existência das coisas graças a pequenas estruturas constituintes dos elementos: átomos. Segundo eles, os elementos de Empédocles eram compostos pelo vazio e pelo cheio, os quais representavam o “ser” e o “não-ser” (ARISTÓTELES, 2006). Ainda podemos citar a escola pitagórica, na qual se acreditava que o número era um princípio primeiro, tanto como a matéria das coisas quanto como o elemento constituinte de suas propriedades e estados (ARISTÓTELES, 2006). Por sua vez, os elementos dos números são o par e o ímpar.

Alcmeão, que viveu durante a velhice de Pitágoras, dizia que o princípio das coisas era os “contrários” (doce-amargo, branco-preto, grande-pequeno). Segundo Aristóteles (2006), ele reconhecia que esses princípios como materiais e constituintes originais dos quais a substância (*ousian*, a primeira das categorias de Aristóteles, e objeto de nossa discussão neste tópico, vinculada ao *ser*) está moldada e composta, tendo-os como suas partes inerentes.

Já Platão acreditava que o princípio primordial não era *corporeo* mas *incorporeo*. Platão foi o primeiro a usar o nome “elemento”. Segundo Partington (1989, p.13),

O nome ‘elemento’ (*stoicheia*) foi primeiro usado por Platão (427-347 a.C.) que assumiu que as coisas eram produzidas a partir de suas formas primárias de matéria, talvez apenas pelo espaço, tomando a sua ‘forma’. A mínima partícula de cada elemento tem uma forma especial: fogo um tetraedro, ar um octaedro, água um icosaedro e terra um cubo, que são um recorte no espaço (...). Os elementos mudam um em outro em ‘definitivos ratios’ pela associação de triângulos e reassociação deles. No diálogo de Platão, *Timaeus* inclui uma discussão da composição de corpos inorgânicos e orgânicos e é um rudimentar tratado de química (Tradução nossa).

Ainda segundo Partington (1989), mesmo atribuído a Empédocles, foi Anaximedes (560-500 a.C.) que introduziu as ideias das quatro raízes das coisas: fogo, ar, água e terra; e duas forças: atração e repulsão, que compunham e separam os materiais. Partington (1989) relata ainda que Aristóteles (384-322 a.C.) resumiu as teorias de

pensadores anteriores, desenvolvendo a visão de que todas as substâncias são formadas de uma matéria primária, chamada *hulé*. Diante disso, diferentes formas (*eidós*), poderiam ser esculpidas, assim como um escultor faz diferentes estátuas a partir de um bloco de mármore. Essas formas poderiam ser removidas e substituídas por novas, de modo que a idéia de transmutação dos elementos surgia. Aristóteles atribuiu propriedades fundamentais à matéria: quente, frio, húmido e seco. Pela combinação desses pares, ele conseguia o que era chamado de *os quatro elementos*: fogo, ar, terra e água. Partington (1989, p.14) apresenta como Aristóteles definia esses elementos:

Aristóteles define um elemento ou ‘corpo simples’ como ‘um desses corpos em que podem ser decompostos em outros corpos e que em si não é susceptível de ser dividido em outros’. Ele distingue entre mistura mecânica e solução, e mudança química com mudança completa de propriedades. Ele é o primeiro grego a mencionar o mercúrio como “água de prata” (*chutos arguros*). Ele diz que o vapor da água do mar evapora do navio e condensa como água fresca.

Porém Aristóteles não se resumiu aos quatro elementos primordiais (ou princípios), mas criou definições para diversos conceitos, como elemento e substância. Por sinal, Aristóteles criticou todos os pensadores anteriores por não definirem precisamente a substância, mas se preocuparem em achar o princípio das coisas (ARISTÓTELES, 2006, pág. 140)

Todavia, ficamos sabendo o suficiente sobre eles (os filósofos), ou seja, que nem um dos que discorrem sobre o princípio ou causa mencionou qualquer outro tipo além dos que distinguimos no tratado sobre a natureza. É claro que foi atrás desses tipos que tatearam, ainda que incertamente. Alguns falam do primeiro princípio como material, quer o concebam como uno ou múltiplo, como corpóreo ou incorpóreo. Exemplo: Platão refere-se ao *grande* e *pequeno*; Empédocles ao fogo, terra, água e ar; Anaxágoras à infinitude dos homogêneos. (...) Quanto à essência ou substância das coisas, ninguém a enunciou explicitamente.

Podemos entender nesta citação de Aristóteles a sua tentativa em criar um limite entre os conceitos de substância (a qual ele chama de essência) e elemento, visto que ao longo daquele período histórico os mesmos não eram bem definidos (ora se falava de um elemento primário, ora de uma substância primária). Aristóteles fez essa diferenciação, porém verificamos que a substância de Aristóteles tinha um valor mais metafísico do que material (mesmo ele tratando de substâncias materiais).

Aristóteles fez as seguintes definições para “substância”:

SUBSTÂNCIA SIGNIFICA...

[a] Corpos simples, do que são exemplo a terra, o fogo, a água e similares; e, em geral, os corpos e as coisas deles compostas, animais e divinas, incluindo as partes destes. Todas essas coisas são chamadas substâncias porque não são predicadas de nenhum sujeito, embora tudo mais seja predicado delas.

[b] Aquilo que, estando presente em tais coisas, que não são predicadas de um sujeito, é a causa de seu ser, como por exemplo, no animal a alma é a causa de seu ser.

[c] Todas as partes presentes nas coisas que são definidoras e indicadoras de sua individualidade, e cuja supressão do todo, como por exemplo, segundo alguns, o plano. Alguns pensam que o número em geral também seja dessa natureza, sob o fundamento de que se ele fosse suprimido, nada existiria, sendo ele o que determina tudo.

[d] A essência, cuja fórmula é a definição, também é chamada substância de cada coisa particular.

Conclui-se, então, que *substância*, apresenta (fundamentalmente) dois sentidos: (1) o abstrato (sujeito) final, que não é mais predicado de nenhuma outra coisa mais, e (2) tudo o que possua existência individual e independente. A aparência ou a forma de cada coisa particular possui esta natureza.

Quadro 1. Síntese de algumas definições dadas para substância por Aristóteles (retiradas de ARISTÓTELES, 2006, p. 142-143)

Diante dessas definições, podemos destacar algumas características atribuídas à substância por Aristóteles:

- Imutável;
- Representa algo absoluto;
- Representa o *ser*, ou seja, a individualidade de cada corpo;
- A existência das coisas depende da existência desta substância, ou seja, as coisas existem em função da substância;

- Não é predicada de nenhum sujeito, ou seja, é elementar;
- Pode ser material ou imaterial, porém sempre representando a essência de um corpo maior.

Mas o próprio filósofo apresenta um problema acerca deste conhecimento:

De fato, a questão hoje, como no passado, é e foi sempre levantada – e também o será sempre – e que sempre nos deixou perplexos, a saber, *O que é o ser?* é, em outras palavras, a questão *O que é a substância?*. Alguns dizem que ela é a unidade; outros que é mais do que a unidade; e alguns dizem que é finita, enquanto outros afirmam que é infinita. E também nós temos interesse, fundamental e primordial, e praticamente único, de investigar a natureza do *ser* no sentido de substância (ARISTÓTELES, 2006, pág. 144).

Assim, Aristóteles começa uma longa discussão sobre o que poderia ser ou não substância, até levantar duas ideias dicotômicas: “... alguns pensam que nada mais há de substancial além das coisas sensíveis, enquanto outros sustentam a existência de substâncias eternas mais numerosas e mais reais do que as coisas sensíveis” (ARISTÓTELES, 2006, p.179).

É evidente que a discussão de Aristóteles sobre a substância (material e metafísica) vai muito além do que apresentamos aqui. Porém, não podemos nos deter nesta discussão filosófica, pois não é objetivo desta dissertação fazer um estudo sobre a substância aristotélica, mas apenas apresentar a visão sobre substância presente naquela época histórica e em um contexto no qual predominavam questões dos filósofos naturais. Além disso, para uma discussão mais aprofundada acerca das ideias de Aristóteles seria necessário um estudo longo e profundo com foco na área de filosofia.

O conceito de substância aristotélico teve seus desdobramentos. Outros filósofos que vieram depois dele deram uma grande contribuição à substância filosófica. Dentre eles, podemos citar Peirce (1868), Spinoza, Descartes e Leibnz (GARBER, 1993).

Com o passar dos anos, as ideias construídas sobre substância na filosofia grega foram sendo transmitidas e reproduzidas de geração em geração, influenciando os primeiros passos da prática alquímica. Não podemos dizer que somente as ideias aristotélicas influenciaram o início do pensamento alquimista, afinal práticas alquímicas surgiram e progrediram em diversos povos da ásia e mesopotâmia antes de chegar ao ocidente. No

entanto, possivelmente nós tivemos maior influência da alquimia desenvolvida na Europa.

Paolloni (1980) afirma que as ideias sobre substância desenvolvidas naquele período, tanto por filósofos gregos ou por outros povos, tiveram grande força e estavam baseadas, principalmente em informações interpretadas pelo sentido. Nós podemos ir mais além e afirmar que também eram baseadas na lógica e fundamentadas na visão macro da matéria, e permeadas por elementos do misticismo e religião. Segundo o autor, a confiança nessas informações eram tão grande que até mesmo Newton as adotou por mais de 30 anos e essas ideias só começaram a perder força no século XVIII, como veremos no próximo tópico.

3.1.2 Substância na Alquimia e Idade Média

Segundo Leicester (1967), Alexandre O Grande (356-323 a.C), o mais famoso discípulo de Aristóteles, ao final da era Clássica, dominou vários povos do oriente e isso fez com que ele tivesse contato com outras culturas, como a hindu. Segundo o autor, na Índia, filósofos também especulavam sobre a ideia atômica, semelhante aos gregos. Alexandre O Grande levou a Grécia aos grandes centros culturais como o Egito e Mesopotâmia, e a maior contribuição dele para o desenvolvimento cultural-científico foi a fundação de Alexandria no ano 331 a.C. Diante disso, o pensamento científico da filosofia grega se fundia com o misticismo de outros povos e isso fazia com que novas formas de conhecimento surgissem baseadas na razão e no misticismo. É nesse contexto que a Alquimia e ideias animistas surgem e predominam por toda Idade Média.

Alguns avanços são observados, como apresenta Leicester (1967). O ar, por exemplo, era considerado por Heron de Alexandria composto por pequenas partículas minúsculas, ligeiras e invisíveis. Com relação ao conceito de substância, as ideias aristotélicas são reproduzidas e, além disso, a substância ganha vida, como os metais, por exemplo, que são gerados pela Mãe Terra e maturam até se tornar ouro (GOLDFARB, 2002). Além disso, eles têm a capacidade de gerar e manter a vida (LEICESTER, 1967; PARTINGTON, 1989). Essa ideia fica clara quando, por exemplo, vemos que os alquimistas tentavam obter a matéria morta para, a partir dela, gerar vida. Neste processo o material “morto” devia perder a maior parte de suas propriedades metálicas,

se tornar preto e depois passar por um processo de clareamento até chegar à cor dourada (LEICESTER, 1967). Obviamente, este era um campo fértil para o surgimento de charlatões. A pedra filosofal adiantava esse processo de transmutação e toda a história da alquimia tinha como essência a busca dessa poderosa substância e do elixir da longa vida, a qual, como o nome propõe, oferecia vida eterna a quem a usasse (LEICESTER, 1967; PARTINGTON, 1989; GOLDFARB, 2002).

É importante ressaltar que ideias semelhantes a essas se desenvolveram em outros povos, como, por exemplo, chineses e árabes. Porém percebemos apenas uma reprodução de ideias aristotélicas referentes à substância ou o surgimento de concepções semelhantes. Na China, por exemplo, os alquimistas acreditavam que as substâncias eram compostas por cinco elementos: metal, madeira, terra, água e fogo, cuja combinação formava toda Natureza (LEICESTER, 1967). Concepções ou visões como esta adquiriram pleno desenvolvimento na filosofia taoísta, vários séculos antes de Cristo.

3.1.2.1 Idade Média e a Alquimia Alexandrina

As concepções relativas ao conceito de substância na Idade Média (séculos XI e XVI) são bem semelhantes àsquelas encontradas em épocas anteriores. Com o desenvolvimento da alquimia no Ocidente, temos não só o reforço de todas as concepções construídas na Idade Antiga mas também o incremento de elementos místicos e religiosos, o que faz com que tenhamos muitas concepções permeadas de misticismo. Segundo Leicester (1967, p.100) no início da Idade Média, ao final do século XIII

Estavam terminadas a maioria das traduções procedentes da alquimia árabe, e os estudiosos europeus continuavam seu trabalho independente. Sem embargo, esta independência não conduziu a um desenvolvimento científico rápido. Mas parece que os estudiosos tiveram que trabalhar em seus materiais por um longo período antes que eles pudessem ser utilizados para criar algum efeito (...). As teorias alquímicas estavam já bem estabelecidas e os procedimentos práticos não variavam muito, diante disso a maioria dos manuscritos foi mera repetição do que já se tinha dito anteriormente. Uma tendência crescente do uso de alegorias e misticismo caracterizou esta época, além de charlatões que eram frequentes (Tradução nossa).

Partington (1989) coloca que mesmo com o fracasso de muitos alquimistas em achar o elixir da longa vida, métodos de transmutação e a pedra filosofal, estes trabalhos

contribuíram para a descoberta de novas substâncias como álcool, ácidos minerais e alguns sais metálicos. Isso contribuiu para que nos séculos precedentes, se desenvolvesse a iatroquímica ou “química dos medicamentos”. Paracelsus (1493-1541) foi o seu fundador e maior representante.

3.1.2.2 Os três princípios

Na Idade Média ainda temos a influência da filosofia grega, e a teoria aristotélica dos quatro elementos ainda povoa o pensamento científico. Paracelsus, por exemplo, acreditava nela, mas ele pensou também na existência de corpos os quais representavam três princípios: sal, enxofre e mercúrio. Segundo ele, o sal era o princípio da fixação e incombustibilidade, mercúrio da fusibilidade e volatilidade e enxofre da inflameabilidade (PARTINGTON, 1989). Diante disso, constatamos que na Idade Média, algumas substâncias ainda eram vistas como princípios (na qualidade de elementos) num olhar metafísico ou essencialista. Ainda segundo Paracelsus, essas três substâncias juntas formavam a *tria prima*, representava o corpo a alma e o espírito.

Ainda sobre os três princípios (sal, mercúrio e enxofre), Leicester (1967) apresenta um texto do médico Petrus Bonus de Ferrara que se chama *Pretiosa Margerita Novella*. Nele, o médico cita que o mercúrio é a matéria mais próxima dos metais e que estes são formados a partir da mistura entre mercúrio e enxofre. Além disso, Petrus fala que o enxofre se mistura com o mercúrio assim como o macho se envolve com uma fêmea. Diante disso, ele coloca que essas duas substâncias são os princípios primeiros dos metais. Podemos perceber, nessas ideias, ainda concepções que encontramos na Idade Antiga, na existência de substâncias/materiais que são princípios. Ressaltamos que mesmo tratados como três substâncias, a *tria prima* era formada pelas substâncias puras que conhecemos hoje (sal, enxofre e mercúrio), mas um conjunto de princípios que davam a essência interior e a forma exterior das coisas no Universo (PARTINGTON, 1989).

Oki (2002) coloca que a teoria dos princípios (mercúrio-enxofre) se atribui a Jabir ibn Hayyan, um alquimista árabe sobre o qual não se tem certeza sobre as suas origens, mas que teria vivido entre os séculos VIII e IX, a introdução da teoria do “enxofre-mercúrio”. A autora coloca: “segundo essa teoria, todos os corpos seriam formados em

diferentes proporções por dois princípios: o enxofre, portador da propriedade combustibilidade, e o princípio mercúrio, carregador da metalicidade” (OKI, 2002, p. 22). A autora ainda fala que o “sal” foi adicionado como o terceiro princípio posteriormente por Paracelsus. Leicester (1967) ainda coloca que os escritos daquela época tendiam a supervalorizar o mercúrio como sendo a fonte principal da pedra filosofal, diminuindo um pouco a importância do enxofre.

Nesse período muitos nomes de substâncias são usados pela primeira vez. Além dos exemplos já citados, Helmont (1579-1644) deu o nome de *ignis aqua* ao ácido nítrico e através de vários processos, uma grande diversidade substâncias era sintetizada. Alguns desses processos, como a preparação de sais a partir de metais, eram considerados transmutações. Um importante processo, também proposto por Van Helmont, é a preparação da água-régia, a qual sabemos hoje que é uma mistura, porém na época era considerada uma substância distinta.

Algumas substâncias são consideradas forças motrizes da natureza, vida e alma. Semelhante ao exemplo dos três princípios (sal, enxofre e mercúrio), os quais atribuíam qualidades aos materiais, encontramos, nos trabalhos de van Helmont, outros exemplos de substâncias/materiais que tinham qualidades místicas e espirituais:

Eu chamo esse espírito, desconhecido até agora, pelo novo nome de gás, que não podem ser mantidas em vasos nem reduzir a uma forma visível, a menos que a primeira semente seja extinta. A última parte desta definição, ele explica, que o gás de fogo ainda não é água (elemento fundamental), pois "embora o fogo tenha consumido as forças seminais do corpo em chamas, mas algumas diferenciações primitivas fermentivas dos retornos de gás para o elemento água" (PARTINGTON, 1989, p.48. Tradução nossa).

Por sinal, van Helmont foi o primeiro a produzir gás em diversos processos químicos, os quais ele dividiu em vários grupos: gás venenoso, gás *carbonum*, gás formados em recipientes, gás formados pela efervescência do ácido sulfúrico, gás vermelho venenoso, gás de água termal, *gas ventosum*, *gas pingue*, gás combustível, gás silvestre, gás vital e gás da pólvora (PARTINGTON, 1989).

Van Helmont rejeitava a teoria aristotélica dos quatro elementos (água, terra, ar e fogo), a dos três princípios de Paracelsus (sal, mercúrio e enxofre) e a teoria da *hulé* da matéria primária de Aristóteles. Helmont afirmava que os verdadeiros elementos eram a água e o ar. Nenhum desses dois elementos primários (ar e água) poderia ser

convertido em outro e um elemento não poderia ser reduzido à um simples estado (PARTINGTON, 1989, p. 51). Segundo Partington (1989), os outros dois elementos (fogo e terra) não eram considerados princípios porque o fogo não era matéria como um todo e a terra poderia ser formada a partir da água.

3.1.2.3 Boyle e o elemento químico

Semelhante a Van Helmont, Boyle (1627-1691), considerado o pai da química moderna (PARTINGTON, 1989) também rejeitava a teoria dos princípios elementares. Ele deu uma definição clara para “elemento” e provou experimentalmente que os quatro elementos de Aristóteles (água, terra, ar e fogo) e os três princípios (sal, enxofre e mercúrio) não existiam. Segundo Partington (1989), para Boyle essas substâncias/materiais não mereciam ser chamados de “elementos” ou “princípio de tudo” uma vez que nenhum deles poderia ser extraídos de corpos, como os metais.

As ideias de Boyle marcaram a passagem da Alquimia para Química e vemos em suas definições de “elemento”, por exemplo, um leve distanciamento das ideias aristotélicas. Porém não vemos a mesma coisa com o conceito de substância. Segundo Bassalo, professor titular da Unniversidade do Pará, em texto publicado em seu site³ voltado para conceitos científicos, principalmente da Física,

o “elemento Boyleano” representava um componente concreto de uma substância. Segundo sua definição: Entendo por elementos certos corpos primitivos e simples, perfeitamente sem mistura, o qual não sendo formado de quaisquer certos corpos nem uns dos outros, são os ingredientes dos quais todos os corpos perfeitamente misturados são feitos, e nos quais eles podem ser finalmente analisados.

É importante ressaltar que o conceito de elemento que temos hoje na Química além de representar uma visão microscópica da composição da matéria, apresenta uma visão abstrata da mesma, assim como o conceito de substância. Portanto, temos uma hierarquia de abstração entre esses conceitos. Os elementos e as substâncias (ambos conceitos abstratos) formam os materiais (de forma concreta). O que temos é uma diferença na ontologia dos conceitos. O conceito de elemento e substância tal como

³ <http://www.searadaciencia.ufc.br/folclore/folclore124.htm> - Acessado em 07/04/2010.

concebemos hoje apresenta uma ontologia diferente daquela da Idade Antiga, visto que os elementos eram corpos materiais.

Boyle acreditava na teoria atômica e considerava que as combinações químicas se faziam entre partículas elementares, a partir de afinidades químicas. O que percebemos é que nesta época temos um período de transição, em que a Alquimia vai, aos poucos, dando lugar à Química, e várias rupturas com ideias já consolidadas começam a acontecer.

Ainda não existia um limite conceitual entre “substância” e “matéria”. O ar atmosférico, por exemplo, ainda era considerado como substância (por muitos, primordial, como na concepção aristotélica), afinal os diferentes gases ainda não tinham sido identificados. Porém, temos um quadro diferente para o conceito de elemento. Este começa a ter suas próprias definições e a ser visto como “algo que forma as substâncias”, dentro de uma visão microscópica. Então, o que temos é o início da separação de elemento e substância (os elementos formam as substâncias). Porém a concepção de elemento é abstrata, visto que o que formam as substâncias são formas elementares das mesmas, que representam os diversos elementos.

Não podemos deixar de citar o flogisto. Segundo Partington (1989), o flogisto, derivado da palavra grega *phlogiston* foi proposto por Bacher (1635-1632) em uma publicação feita por Stahl (1660-1734), discípulo de Bacher, no ano de 1703. Segundo Stahl, o flogisto seria “a matéria e princípio de fogo, não o próprio fogo” (PARTINGTON, 1989, p.87). Esta matéria escapa de corpos que queimam com um rápido movimento giratório e está contido em todos os corpos combustíveis e também nos metais. O autor continua dizendo que o produto da combustão poderia ser convertido à substância original, desde que ele receba flogisto de algum outro material, como óleo, cera ou fuligem. Assim, entendemos que o flogisto era considerada uma substância que estava dentro de outras substâncias.

Partington (1989) afirma que o flogisto às vezes era considerado como: um material; as vezes como matéria de fogo; substância terrosa (fuligem); princípio gorduroso (no enxofre, óleo, sebo e resinas); ou, finalmente, como partículas invisíveis emitidas por

uma vela queimando, por exemplo. Além disso, ele estava contido em corpos animais, vegetais e minerais, e poderia ser transferido de um corpo para outro.

Com o decorrer do tempo a teoria do flogisto passou por várias modificações. Entre elas, Partington (1989) cita os “ajustes” feitos por Cavendish (1766), Baumé (1777) e Macquer (1779). Veremos que a teoria flogística durou até a descoberta dos diversos gases, principalmente através da contribuição de Antoine Lavoisier.

3.1.3 Química dos gases: o “nascimento” da substância química

No século XVIII, a ideia das substâncias ou elementos primordiais estavam perdendo força. Porém, o conceito de substância ainda não estava totalmente formado dentro de uma visão química. A luz e o calor, por exemplo, ainda eram considerados como substâncias materiais (LEICESTER, 1967) e elementares, como apresenta a classificação de Lavoisier.

Os métodos de laboratório passaram por vários avanços nesta época e a Química estava se separando da Alquimia. Várias substâncias eram descobertas e identificadas, como óxidos, metais e gases. É nesta época que temos a primeira ruptura epistemológica acerca do conceito de substância. Nesta ruptura, o conceito sai da visão metafísica, primordial, essencialista e generalista, que tínhamos desde a Idade Antiga, e passa a ser algo mais palpável e manipulável pela Química, tendo seus próprios limites, separando de outras noções como elemento e material. Podemos dizer que o conceito de substância começa a entrar numa fase empirista e racional, antes de passar para uma forma abstrata no século XX.

Não devemos olhar esta ruptura como algo que cessou o desenvolvimento conceitual da visão filosófica da substância. O conceito aristotélico foi discutido por vários outros filósofos, como Leibniz e Spinoza (GARBER, 1996) e, ainda hoje, no campo da filosofia, temos discussões bastante ricas acerca da substância. Diante disso, consideramos que entre os séculos XVIII e XIX houve uma bifurcação, na qual temos a formação de dois caminhos epistemológicos diferentes. Até então, tínhamos uma epistemologia única para a substância e, após os trabalhos que apresentaremos a seguir, a substância (agora com caráter químico) “surge” e segue sua própria epistemologia,

porém, preservando a mesma raiz epistemológica daquela discutida na filosofia. Abaixo, representamos este nosso pensamento em forma de figura:

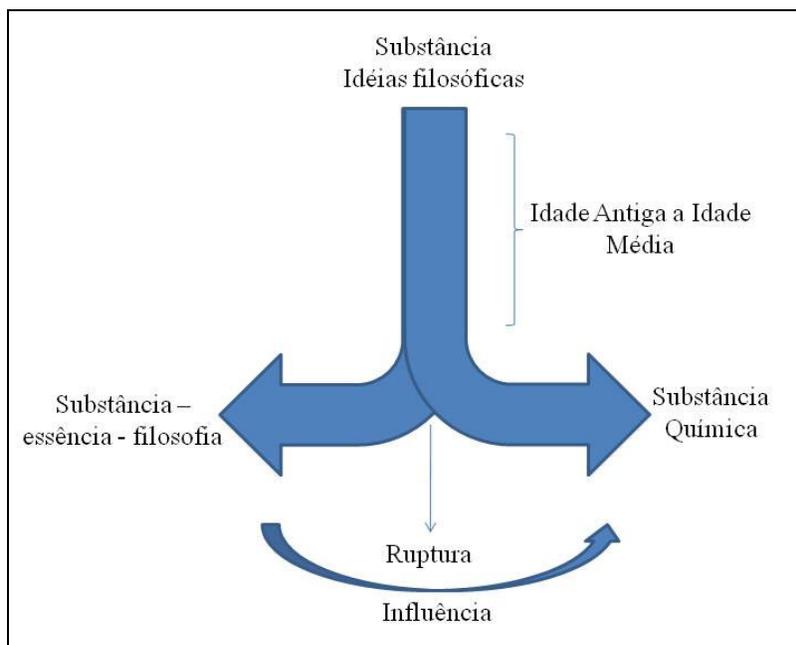


Figura 1. Hoje temos dois conceitos a cerca da substância distintos: a substância na Filosofia e a substância química, sendo que o primeiro ainda influencia o segundo.

3.1.3.1 Contribuições de Hales, Black, Cavendish e Priestley

- Hales

Os estudos acerca dos gases foram desenvolvidos por vários estudiosos (sejam químicos ou não). Neste tópico, resolvemos apresentar alguns trabalhos, os quais achamos relevantes em nosso levantamento histórico para o conceito de substância.

Começamos pelos experimentos realizados por Stephen Hales (1677-1761). Hales foi vigário e estudou no Corpus Christi College, Cambridge. Mesmo dedicado à vida religiosa, divida suas atividades paroquiais com experimentos científicos, principalmente na área da botânica.

Os seus experimentos, os quais se baseavam na química quantitativa inspiraram Black e Priestley (PARTINGTON, 1989). Um de seus primeiros experimentos foi a determinação da quantidade de gases que se podia extrair de uma substância pelo calor

(PARTINGTON, 1989; LEICESTER, 1967). E, como a ideia de substância ainda não estava completamente formada, a generalização tomava conta do pensamento científico. Diante disso, os diversos gases que Hales extraía, para ele, era tudo “ar” (PARTINGTON, 1989).

Hales, ao fazer experimentos observando o processo de respiração de animais e seres humanos, media os volumes de “ar” inalado e exalado. A partir desses experimentos, segundo Partington (1989), ele chegou à conclusão de que o “ar é farto em substâncias animal, vegetal e mineral” (tradução nossa) (p.92).

- Black

Joseph Black (1728-1799) nasceu em Bordeaux, França, porém foi educado na Escócia, onde ficou consagrado. Se formou em medicina e foi professor de química e práticas físicas (PARTINGTON, 1989).

Black realizou experimentos importantes com o calor latente. Além disso, ele reconheceu que os corpos possuem capacidades diferentes de calor ou um calor específico. Com seus experimentos, ele determinou a existência de um “ar” que estaria presente no carbonato básico de magnésio: o ar fixo. Este, seria o mesmo “ar silvestre” encontrado anteriormente por van Helmont (PARTINGTON, 1989).

Analisando a visão de substância nessa época, percebemos que os experimentos de Black contribuíram para a definição de propriedades de algumas substâncias. Além disso, percebemos que a concepção de que o ar é uma substância única começa a ser abandonada, visto que seus experimentos apontavam para a existência do “ar fixo”, o qual seria um gás diferente do “ar”. Em uma conferência atribuída a Black, publicada por John Robinson, há a descrição da importância desses experimentos. Um dos pontos importantes é justamente o descobrimento “de uma substância sutil” (LEICESTER, 1967, p.161. tradução nossa) como o ar fixo, o qual poderia ser encontrado “dentro” de sólidos, como uma pedra. Além disso, a sua presença mudaria as propriedades dessa pedra. Após ter denominado essa nova substância de “ar fixo”, Black se voltou aos estudos sobre a “natureza e propriedades dessa substância” (PARTINGTON, 1989, p.98. tradução nossa). Hoje sabemos que “ar fixo” se trata do gás carbônico (CO₂).

Percebemos que nesse momento, não só os trabalhos de Black, mas de outros contemporâneos, começam a valorizar a determinação das propriedades físicas e químicas dos sólidos, de maneira experimental e baseado em um pensamento mais racionalizado, em relação às ideias que existiam anteriormente. Segundo Leicester (1967), graças ao trabalho de Black, a ideia de que os gases não interferiam nas reações químicas teve que ser abandonada e isso abriu um novo caminho para estudar as substâncias.

- Cavendish, Scheele e Priestley

Os experimentos realizados por Cavendish (1731-1810), Scheele (1742-1786) e Priestley (1733-1804) foram bastante relevantes nos estudos dos gases e, assim, nas novas definições para substância e elemento.

Cavendish, cientista inglês, publicou em 1766 um estudo sobre as propriedades do ar inflamável (hoje, conhecido como hidrogênio) e o ar fixo (PARTINGTON, 1989). Segundo Leicester (1967), vários investigadores, como Boyle, já haviam obtido o hidrogênio e estudado sua inflamabilidade. Porém, Cavendish foi o primeiro a caracterizá-lo como uma substância específica. Como Cavendish era flogisticista, assim como a maioria de seus contemporâneos, ele imaginou que o “ar inflamável” poderia se tratar do flogisto puro (LEICESTER, 1967), devido à sua leveza e por acreditar que ele escapava dos metais, quando estes eram tratados com ácidos (BRITO, 2008). Em contrapartida, segundo Partington (1989), Cavendish não acreditava na natureza material do calor, mas acreditava que ele era resultado da movimentação das partículas dos corpos.

Daniel Rutherford (1749-1819), discípulo de Black, em 1772 considerou que todos os gases que podiam se obter por combustão ou respiração, deveriam ser eliminados do “ar ordinário”, no sentido de que estes eram substâncias novas que compõe o ar (LEICESTER, 1967). Além disso, simultaneamente, além de Rutherford, Cavendish e Scheele descobriram um novo gás: “gás metífico”, atualmente conhecido como nitrogênio. Lembramos que todas essas descobertas eram sempre acompanhadas pelo estudo nas propriedades desses gases, o que favorecia a caracterização de cada

substância. Vemos o nascimento das primeiras definições e concepções acerca da “substância química”.

Carl Wihelm Scheele, natural de Stralsund, Alemanha, estudou química e ocupou posições de trabalho em algumas cidades européias (PARTINGTON, 1989). Era um homem pobre, e sempre trabalhou com aparatos simples. Algumas de suas descobertas foram publicadas por Priestley na Inglaterra.

Scheele também acreditava no flogisto, e que a “substância inflamável” (acreditamos que é o mesmo “ar inflamável” caracterizado por Cavendish, ou seja, o hidrogênio) era composto pelo flogisto e o ar comum. Segundo Partington (1989, p.105),

A substância inflamável não foi mantida no gás residual, que difere do ar comum. Pelo que, se esse gás é formado pela união do ar comum com o flogisto, e contraído, deveria ser mais denso que o ar comum. (...). ‘o ar, portanto, é composto por dois fluidos, diferentes um do outro, um que não se manifesta a propriedade de atrair o flogisto, enquanto o outro, que compõe $\frac{3}{4}$ da massa total do ar, é peculiarmente disposto a tal atração. Estes foram chamados de *Foul air* e *Fire air*, que mais adiante foram nomeados de nitrogênio e oxigênio respectivamente (tradução nossa).

Segundo Brito (2008), esses dois fluidos eram o ar flogisticado (nitrogênio, hidrogênio) e ar desflogisticado (oxigênio). Percebemos que as contribuições de Scheele só vieram reforçar a concepção de que o ar é composto por diversas substâncias. Além disso, também vemos que o oxigênio foi descoberto por ele, mesmo que esta descoberta hoje seja atribuída à Priestley ou Lavoisier. Cada substância nova identificada, suas propriedades era estudada, afim de se poder caracterizar dentro de determinadas situações. Assim, o conceito de substância química emerge dentro de um pensamento empírico e racionalista, no qual começa a se formalizar com os trabalhos posteriores com as definições entre átomo, molécula, elemento químico e substância e a “hierarquia” existente entre esses termos. Hierarquia esta, saindo de uma visão micro para uma visão macro da matéria além da abstração existente entre esses conceitos.

Os estudos sobre os gases, antes de culminar na construção das definições formais sobre substância química e elemento, por Lavoisier, teve seu ápice nos trabalhos de Joseph Priestley (1733-1804).

Priestley foi clérigo e iniciou seus estudos na química por volta dos 38 anos de idade. Segundo Leicester (1967), ele isolou e caracterizou um grande número de gases, não se comparando a nenhum de seus contemporâneos. Em termos de número de “ares” estudados, Priestley superou todos os seus antecessores. Juntamente com Cavendish, Priestley foi considerado o mais importante dos químicos de seu tempo (LEICESTER, 1967). Grande parte de seus experimentos foram divulgados na obra *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* (figura 1), publicado em 3 volumes na cidade de Londres (PARTINGTON, 1989).

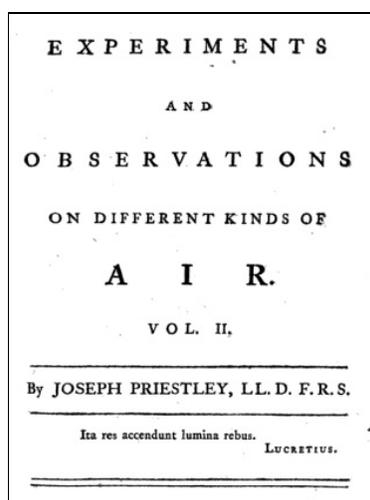


Figura 2. Capa da obra *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*

Como vivia próximo à uma cervejaria, Priestley conseguia uma grande quantidade de dióxido de carbono para seus experimentos. Isso permitiu que ele inventasse a água com gás, a qual acreditava-se ter propriedades medicinais. Após o ano de 1722, estudou um grande número de gases, até então desconhecidos. Em seus experimentos, ele usava uma cuba pneumática utilizando o mercúrio, em vez de água, assim, pôde obter vários gases cuja a solubilidade em água havia impedido a identificação antes. Segundo Gorri e Filho (2009, p. 188), na obra citada anteriormente,

Priestley relata como produziu e estudou as propriedades de nada menos do que doze diferentes “ares” a saber: ar desflogisticado (1774); ar flogisticado (1772); ar nitroso (1772); vapor nitroso (1772); vapor nitroso desflogisticado (1774); ar fixo ou ar mefítico (1771); dois ares inflamáveis (1772) (o que se atribui a Cavendish, e ainda o gás que hoje conhecemos como monóxido de carbono, que também se inflama); ar do ácido vitriólico (1774), ar do ácido

marinho (1772), ar alcalino (1774) e ar do ácido de flúor (1775). Modernamente esses gases são identificados como oxigênio, nitrogênio, óxido nítrico, dióxido de nitrogênio, óxido nítrico, dióxido de carbono, hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, cloreto de hidrogênio, amônia e tetrafluoreto de silício, respectivamente.

Na História da Química, quando falamos em Priestley, a primeira associação que fazemos é com a descoberta do oxigênio (também atribuída à Scheele e Lavoisier). Segundo Brito (2008, p.53), “apesar de Priestley ser considerado o descobridor desse gás, crê-se que Sheele teve a primazia entre 1770 e 1749. Todavia publicou o seu livro atrás citado demasiado tarde quando a descoberta já estava atribuída a Priestley (de factos semelhantes está a História cheia...)”.

Partington (1989) afirma que oxigênio foi “descoberto” por ele em agosto de 1774, com o aquecimento do óxido de mercúrio. Segundo o autor, Priestley seguiu o pensamento de que o ar, embora tendo sua natureza elementar como uma máxima filosófica, não era uma coisa inalterável.

Partington (1989) afirma que Priestley assumia, a partir dos estudos de Stahl, que uma vela em chama liberava flogisto e o fogo se apaga quando colocamos um copo em cima devido ao ar que fica saturado de flogisto. Nesta visão, uma substância queimava com uma chama moderada no ar comum porque este era parcialmente saturado com flogisto. Já neste novo gás, a chama era mais viva e queimava melhor. Diante disso, Priestley deduziu que a nova substância descoberta tinha pouquíssimo flogisto ou simplesmente era desflogisticada (PARTINGTON, 1989). Diante disso:

- Ar flogisticado (nitrogênio) = Ar + flogisto (Foul air de Scheele)
- Ar desflogisticado (oxigênio) = Ar – flogisto (Fire air de Scheele)

Analisando as outras descobertas, podemos ter ideia de como esses resultados concordavam com outros já encontrados, por exemplo: o nitrogênio também foi encontrado por Cavendish (comunicou seus resultados à Priestley); pelo método do óxido nítrico Priestley encontrou que o 1/5 do ar comum era o ar desflogisticado (oxigênio); Scheele situou essa proporção entre 1/3 e 1/4 e Lavoisier, a partir de diversos métodos, encontrou entre 1/6 e 1/4.

Silveira (2005) afirma que a descoberta do oxigênio pode ser considerada um importante marco neste momento, pois determinadas propriedades que antes eram frutos da elementaridade da matéria, por exemplo, o princípio do fogo característico da teoria do flogístico, agora podem ser interpretadas a partir da existência das relações entre materiais.

Para nossos objetivos, que é investigar as concepções acerca do conceito de substância, percebemos a importância destas contribuições no sentido em que a substância sai de um plano mais geral (como sendo tudo o que nos rodeia ou a essência de todas as coisas) e vemos significados mais racionais acerca dela.

3.1.4 Lavoisier e a Química Moderna

Consideramos que os trabalhos de Antoine Lavoisier (1743-1794) foram um marco para Química. Segundo Leicester (1967) a sua obra colocou uma base essencialmente moderna na Química, por isso que muitos denominam com frequência que seus estudos fizeram uma Revolução Química. Podemos considerar também que seus trabalhos ajudaram a romper com várias visões anteriores que sobre o conceito de substância.

Lavoisier não tinha uma formação na área da ciência. Filho de uma família nobre, ele era economista e membro da *Ferme Generale*, uma organização a qual dava ao governo o direito perceber as taxas de numerosos ramos essenciais ao comércio. (LEICESTER, 1967). Toda sua riqueza permitiu que ele trabalhasse com o que tinha de melhor na época, em termos de aparelhagem de laboratório. Segundo Leicester (1967), a clareza de visão de Lavoisier e seu método em executar suas experiências o levou a uma compreensão de fenômenos naturais que somente poucos contemporâneos compartilhavam.

A sua carreira compreendeu a importância da medição científica exata. Seu primeiro estudo experimental, por exemplo, sobre a natureza do gesso, que começou aos vinte e um anos, implicava determinar a quantidade de água que este mineral perdia ao aquecê-lo, e a quantidade que recuperava ao estabilizar-se na forma de gesso comercial.

As contribuições de Lavoisier e seus predecessores, na construção do conceito de substância química, foram essenciais. Lavoisier não só descobriu novas substâncias,

como desenvolveu novos aparatos de laboratório e novos métodos (PARTINGTON, 1989). Diante disso, atribuí-se a ele o título de fundador da Química Moderna.

Junto com essa Química moderna, novas definições acerca do conceito de substância e elemento surgiram. Neste momento é possível falar em substâncias químicas de maneira concreta, isolando-as e caracterizando-as segundo as propriedades que apresentam. Porém essa ruptura com as visões anteriores começou antes, com os trabalhos que já apresentamos. Silveira (2003) considera Priestley, Cavendish e Lavoisier como marcos para a ruptura de uma visão metafísica de substância para uma forma operacional e materialista.

Segundo Partington (1989), Lavoisier completou os trabalhos de Black, Priestley e Cavendish, e deu explicações corretas aos seus experimentos. Dentre os diversos trabalhos desenvolvidos por Lavoisier, um dos mais importantes foi com a teoria da combustão. Ao dar um novo olhar às reações de combustão, jogando por terra a ideia do flogisto, Lavoisier influencia diretamente também o conceito de substância química. A combustão vai ser entendida como a interação entre duas substâncias para formação de outras (transformação química) e com a teoria do flogisto derrubada não temos mais a ideia do calor como uma substância.

Segundo Leicester (1967), Lavoisier foi se familiarizando com os resultados de estudos sobre os gases a partir de experimentos de queima do diamante. Em relação ao conceito de substância, até então, a composição dos corpos era baseada em dados perceptivos, porém, Lavoisier elaborou uma definição operativa de elemento (PAOLLONI, 1980) e, conseqüentemente, também de substância química.

Lavoisier conhecia os trabalhos de Hales, portanto sabia que algumas substâncias químicas podiam conter gases e desprendê-los (LEICESTER, 1967). Ele também conhecia os trabalhos de todos os seus antecessores e isto fez com que visse a possibilidade de que os gases poderiam se combinar com outros compostos ou se desprenderem a partir de reações químicas (LEICESTER, 1967). Em 1778, Lavoisier publicou um trabalho no qual dizia que o ar era composto por dois fluidos (semelhante ao trabalho de Scheele, publicado em 1777), um que combinava com os metais e outro “metífico”. Em dezembro de 1774 Lavoisier já pensava que o ar se combinava com os

metais na calcinação (PARTINGTON, 1989). Ao saber que Lavoisier teve contatos com os trabalhos sobre gases desenvolvidos anteriormente, nos faz ter certeza que suas ideias não foram elaboradas apenas por ele, mas, a partir de um diálogo com os resultados de seus contemporâneos e antecessores. Alguns desses contatos não foram apenas com os trabalhos, mas também pessoais, como aponta Partington (1989, p. 126):

(...) em outubro de 1774 Priestley visitou Paris com Lord Shelburne, e disse a Lavoisier em um jantar do seu descobrimento do ar desflogistoicado (...). Lavoisier também recebeu uma carta de Scheele, datada de 30 de setembro de 1774, pedindo a ele para tentar aquecer carbonato de prata, absorvendo do ar fixo o gás com água de cal (...). (Tradução nossa).

Os experimentos de Lavoisier só vieram reforçar a ideia de que o ar não era uma substância em si, mas formada a partir de diversos compostos. Isso culminou com as definições formais de elemento e substância que veremos mais adiante.

Em meio aos seus experimentos acerca da composição do ar, Lavoisier foi o responsável pela nomenclatura de “oxigênio” ao ar antes conhecido como “desflogisticado”, como afirma Leicester (1967, p. 172) abaixo:

Já se considerava a combustão do fósforo e do enxofre como uma combinação destes elementos com o ar que se respira, e Lavoisier acreditava que este gás entrava na composição de todos os ácidos. Em novembro de 1779, sugeriu para ele o nome de *oxigênio* (*principe oxygine*), duas palavras gregas que significam “formador de ácidos” (tradução nossa).

E prosseguiu Lavoisier com seus estudos sobre a composição da água e da atmosfera. Segundo Partington (1989), Lavoisier confirmou sua visão sobre a composição da atmosfera por um famoso experimento descrito na sua obra *Traité Élémentaire de Chimie* (figura 2), publicada em 1789. Além desse experimento, nesta obra, Lavoisier trata de vários conceitos, inclusive elemento e substância química, a partir dos seus diversos experimentos.

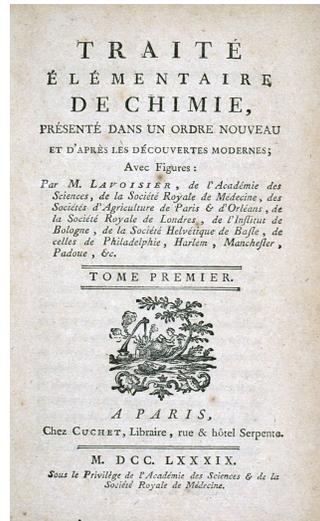


Figura 3. *Traité Élémentaire de Chime.*

Então, o que podemos dizer sobre a visão instituída por Lavoisier acerca do conceito de substância química?

Analisando a obra de Lavoisier (1789, p.07), vemos que o primeiro momento que ele utiliza a palavra “substância” é para criticar a teoria filosófica dos quatro elementos:

(...) como é verdade que o peso da autoridade dos pais da filosofia é humano , e provavelmente ainda irá pesar sobre as gerações futuras. Algo notável é que, ao ensinar a doutrina dos quatro elementos, não há químico que, pela força dos fatos, foi conduzida por admitir um número maior deles. Os primeiros químicos que têm escrito desde a renovação da cartas olhou enxofre e sal, como substâncias, que entrou na fundamental combinação de um grande número de corpos (...) (tradução nossa).

Na citação acima, vemos que Lavoisier afirma que existe um número maior de elementos, do que apenas os quatro da teoria filosófica. No decorrer do texto, ele tenta esboçar as primeiras definições para elemento e substância:

Eu me contentaria, portanto, em dizer que se dissemos que elementos são moléculas simples e indivisíveis que compõe os corpos, é provável que não os conhecemos verdadeiramente: que, ao contrário, nos designamos o nome “elemento” ou de princípio dos corpos a ideia do último termo no qual se possa analisar. Todas as substâncias que nós ainda não pudemos decompor por nenhum meio, são elementos (LAVOISIER, 1789, p. 08. Tradução nossa).

Percebemos que o conceito de elemento que está sendo construído, segundo Lavoisier, é de algo concreto e que pode ser isolado. Temos aí as substâncias em suas formas

elementares (que são os elementos ou substâncias simples). Na citação, percebemos uma preocupação na definição de elemento numa visão microscópica e que irá culminar numa visão de substância com a mesma ontologia: “em relação às substâncias que são formadas por várias substâncias simples, nós designamos o nome compostos” (p. 08. Tradução nossa).

Diante disso, na classificação de Lavoisier, percebemos que na natureza existem os “corpos elementares” ou substâncias simples (elementos), os quais ele afirma que existem em uma quantidade maior do que a apresentada pelos filósofos gregos e os “compostos”, que são substâncias formadas por diversos elementos. A ideia filosófica dos quatro elementos perde ainda mais forma quando Lavoisier afirma que elemento é o corpo no qual não se pode mais decompor. Como os estudos acerca da composição do ar estavam avançados, não se tinham mais argumentos para sustentar o ar, água, terra e fogo como corpos elementares.

Em seus estudos, Lavoisier propõe uma tabela de substâncias simples (figura 3) colocando o calórico e a luz nessa classificação. O calórico foi um outro modelo de explicação para fenômenos como o de mudança de estado físico. Apresentando argumentos consistentes, o químico francês explica as mudanças de estado físico em função do “calórico” que, segundo ele é “a causa do calor, o fluido eminentemente elástico que o produz” (p. 19, tradução nossa). Mesmo afirmando que o calórico seria um fluido, Lavoisier deixa espaço para discussões, ao escrever que “rigorosamente falando, nós não somos obrigados de supor que o calórico seja uma matéria real; é suficiente (...) saber que ele seja uma causa repulsiva qualquer que afasta as moléculas da matéria, assim nós podemos tratá-lo de maneira abstrata e matemática” (p. 19, tradução nossa. Leicester (1969) argumenta que Lavoisier não poderia romper por completo com as ideias de seus contemporâneos. Portanto, o conceito de calor, como uma forma de movimento, dava espaço à ideia de que era uma substância (assim como a luz). Diante disso “Lavoisier propôs sua tabela de elementos com o calórico e a luz” (LEICESTER, 1969, p.175, tradução nossa).

Esta obra de Lavoisier ainda trata da composição do tipos de calóricos, da composição da atmosfera, da nomenclatura de cada substância elementar e composto identificado no

ar, a formação de ácidos a partir do oxigênio, nomenclatura dos ácidos e de diversos processos químicos.

192 DES SUBSTANCES SIMPLES.
TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
<i>Substances simples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.</i>	Lumière.....	Lumière. Chaleur. Principe de la chaleur.
	Calorique.....	Fluide igné. Feu. Matière du feu & de la chaleur.
	Oxygène.....	Air déphlogistiqué. Air empirical. Air vital. Base de l'air vital.
	Azote.....	Gaz phlogistiqué. Mofete. Base de la mofete.
	Hydrogène.....	Gaz inflammable. Base du gaz inflammable.
	Soufre.....	Soufre.
	Phosphore.....	Phosphore.
	Carbone.....	Charbon pur.
	Radical muriatique.	Inconnu.
	Radical fluorique..	Inconnu.
<i>Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Radical boracique..	Inconnu.
	Antimoine.....	Antimoine.
	Argent.....	Argent.
	Arsenic.....	Arsenic.
	Bismuth.....	Bismuth.
	Cobalt.....	Cobalt.
	Cuivre.....	Cuivre.
	Etain.....	Etain.
	Fer.....	Fer.
	Manganèse.....	Manganèse.
<i>Substances simples métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Mercury.....	Mercury.
	Molybdène.....	Molybdène.
	Nickel.....	Nickel.
	Or.....	Or.
	Platine.....	Platine.
	Plomb.....	Plomb.
	Tungstène.....	Tungstène.
	Zinc.....	Zinc.
	Chaux.....	Terre calcaire, chaux.
	Magnésie.....	Magnésie, base du sel d'Épsum.
<i>Substances simples falsifiables terreuses.</i>	Baryte.....	Barote, terre pesante.
	Alumine.....	Argile, terre de l'alun, base de l'alun.
	Silice.....	Terre siliceuse, terre vitrifiable.

Figura 4. Tabela de substâncias simples. Lavoisier considerou o calórico e a luz como substâncias elementares.

É uma obra completa e que marcou a história da química e fez com que o conceito de substância passasse para um pensamento mais racional e empírico.

3.1.5 Desdobramentos da ideia de substância: de Lavoisier à substância no século XX

Após os estudos de Lavoisier, vários químicos continuaram a desenvolver seus estudos baseados nas ideias promovidas não somente pelo químico francês, mas pelos estudiosos que já citamos neste capítulo. Percebemos claramente a evolução do conceito de substância e elemento químico (dentro do contexto científico). A seguir, veremos alguns desdobramentos, como os trabalhos desenvolvidos por Cannizzaro, baseado nos estudos de Dalton, Berzelius e Avogadro, além de vermos como o conceito de substância chegou no século XX, passando por mais uma ruptura.

Uma das obras mais importantes na história da química, “*Sunto di un corso di filosofia chimica*” de 1858 de Stanislao Cannizzaro (1826-1910) apresenta algumas ideias referentes ao conceito de substância, já numa abordagem microscópica, influenciada pelos estudos anteriores. A partir dessas ideias, percebemos um pouco a visão deste químico e de seus contemporâneos a cerca do conceito de substância como uma fase de transição, até a ruptura do século XX, com os estudos da mecânica quântica.

Segundo Partington (1989), Stanislao Cannizzaro nasceu em Palermo em 1826 e suas primeiras investigações na química se iniciaram em Paris no laboratório de Chevreul, importante químico orgânico da época. Os estudos acerca das substâncias químicas estavam avançados. Vários cientistas como Dalton, Davy, Berzelius, Avogadro, Gay-Lussac e Dumas já tinham apresentado suas contribuições acerca da composição da matéria. Nesta nova visão do conceito de substância, temos um nível de pensamento racional baseado não só em aspectos macroscópicos da matéria mas também em termos microscópicos e da composição dela, mesmo não havendo um consenso científico acerca dos átomos e moléculas. Mesmo assim, o olhar microscópico que alguns estudos davam à matéria nos mostra a composição das substâncias e suas relações com os seus constituintes (átomos e moléculas). Um conjunto de moléculas semelhantes dentro de um sistema é definido como substância química, a qual poderá ser simples (elemento) ou composta (composto). Como essas são condições que naturalmente não existem, consideramos que são ideias abstratas acerca dos conceitos de substância e elemento. Porém, quando consideramos várias substâncias juntas, formando uma mistura ou material, temos uma visão mais concreta, visto que tudo que nos rodeia representa uma mistura de diversas substâncias (em sua forma elementar ou compostos). É uma visão relativamente simples, porém não era aceita por todos na época.

Os estudos de Cannizzaro corroboraram para o estabelecimento de uma visão microscópica e na determinação de diversas propriedades das substâncias (o que até hoje nos permite identificá-las):

Eu acredito que os progressos da ciência, nesses últimos anos, confirmaram a hipótese de Avogadro, de Ampère e de Dumas sobre a constituição semelhante dos corpos no estado gasoso, isto é, que os volumes iguais desses, seja simples, seja composto, contém número igual de moléculas; porém não o mesmo número de átomos, podendo a molécula de vários corpos ou do mesmo corpo nos vários estados, conter um variado número de átomos, seja

da mesma natureza, seja de natureza diferente (CANNIZZARRO, 1859, p. 01. Tradução nossa).

Segundo Leicester (1967), Cannizzaro revisava o desenvolvimento histórico dos conceitos de átomo e molécula, se baseando nas hipóteses de Avogadro e demonstrando como algumas de suas partes haviam sido aceitas por Berzelius, Dumas e Gerhardt. Além de abordar as substâncias a partir de uma visão microscópica, Cannizzaro determinou algumas propriedades. Uma delas foi a densidade, como mostrado na figura 4, abaixo:

NOMI DEI CORPI	DENSITÀ	DENSITÀ
	ossia pesi di un volume, fatto = 1 quello di un volume d'idrogeno, ossia pesi delle molecole comparati al peso di una intera molecola d'idrogeno considerata come unità.	riferite a quella dell'idrogeno ⁽¹⁾ = 2, ossia pesi delle molecole comparati al peso della mezza molecola d'idrogeno preso per unità.
Idrogeno	1	2
Ossigeno ordinario	16	32
Ossigeno elettrizzato	64	128
Solfo sotto 1000°	96	192
Solfo sopra 1000° ⁽²⁾	32	64
Cloro	35,5	71
Bromo	80	160
Arsenico	150	300
Mercurio	100	200
Acqua	9	18
Acido cloridico	18,25	36,50 ⁽²⁾
Acido acetico	30	60

Figura 5. Densidade de algumas substâncias, por Cannizzaro (1858).

Nesta época também percebemos que os fatores energéticos eram considerados nos estudos acerca dos processos químicos. A substância sempre era vista em termos de energia. Os estudos, por exemplo, sobre substâncias catalizadoras e cinética química mostravam o conhecimento das relações energéticas envolvidas numa reação química (LEICESTER, 1967). Semelhantemente, quando observamos os estudos sobre afinidade química, vemos a questão de forças repulsivas e atrativas, em termos de energia e os conceitos da termodinâmica. O conceito de substância química já começava a tomar a forma abstrata que conhecemos hoje.

Deste modo, percebemos outra ruptura no conceito. Ao entrarmos na química do século XX, percebemos que as propriedades que até então eram tidas como base central nas definições acerca das substâncias não são próprias das mesmas, mas podem variar

segundo as condições do sistema ou a presença de outras substâncias no meio. As propriedades que, ainda hoje, tomamos como padrão para algumas substâncias são relacionais. Percebemos que a substância está em constante mudança e relacionando-se sempre com a energia. É uma visão que vai além do empirismo racional dos séculos XVIII e XIX. A substância, no século XX, não pode ser representada de forma estática, isolada de todas as outras e com propriedades bem definidas a não ser dentro do modelo criado pela química de “substância pura”. Além disso, temos a abstração do conceito, visto que a substância como tratamos hoje é algo que não existe, porém nos serve como modelo explicativo para diversos fenômenos. É o que veremos no próximo tópico.

3.1.5.1 Substância no século XX: propriedades, modelos e energia.

No século XX, o conceito de substância passa por mais uma ruptura epistemológica. O empirismo e o pensamento racionalista continuam, porém começamos a olhar a substância com uma visão relacional, o que nos permite entender a matéria em sua essência. A partir dos estudos acerca da mecânica quântica, por exemplo, os algoritmos e as relações aritméticas guiam os estudos na Química e Física, e, assim sendo, temos um outro nível de racionalidade no conceito de substância química.

Podemos começar nossa discussão apresentando os estudos sobre a radioatividade, já no final do século XIX, e fazendo a seguinte pergunta: como os químicos dos séculos XVIII e XIX “com seus átomos indivisíveis e seus elementos inalteráveis” (LEICESTER, 1967, p. 265. Tradução nossa), poderiam conceber as fantásticas descobertas no ramo da radioatividade? Como aceitar que um elemento pode se transformar em outro (naturalmente), “confirmando” as ideias propagadas pela Alquimia? É nesse contexto que o olhar sobre a substância química começa ser mudado, afinal, tudo que antes era absoluto, agora é relativo.

Segundo Partington (1989) a moderna teoria da estrutura atômica é baseada na descoberta do elétron e os fenômenos da radioatividade. Diante disso, o autor destaca os estudos de Crookes e J.J. Thomson, acerca dos raios catódicos e a estrutura do átomo e a descoberta da radioatividade do urânio por Becquerel em 1896. A partir daí, outros químicos, como o casal Pierre e Marie Curie investigaram a matéria a nível nuclear. Em 1898, o casal Curie, juntamente com Bémont, obtiveram a partir da uraninita os

elementos radioativos polônio e rádio (PARTINGTON, 1989). Entre 1899 e 1900 Giesel, Becquerel, Pierre e Mme Curie e Rutherford identificaram as partículas α , β e a radiação γ (PARTINGTON, 1989).

Brody e Brody (2006) afirmam que a partir dos estudos no campo da radioatividade, vários fenômenos começaram a ser explicados, tomando por bases os conceitos de fusão e fissão nuclear. Segundo os autores, a descoberta de Becquerel da emissão espontânea de energia de materiais radioativos, em 1896, forneceu a primeira pista para a imensa energia do Sol (a partir da fusão de núcleos de hidrogênio para formação de núcleos de hélio). Porém, somente 10 anos depois quando Einstein apresentou sua fórmula “ $E = mc^2$ ” é que compreendeu-se a verdadeira relação entre matéria e energia (BRODY; BRODY, 2006). Deste modo, começamos a perceber a relação entre substância e energia, como veremos com mais detalhes a seguir.

Segundo Hawking (2001) massa e energia são equivalentes, conforme a equação de Einstein. Entre as consequências da interpretação desta fórmula estava a percepção de que “se o núcleo de um átomo de urânio se fissionar em dois núcleos com massa ligeiramente menor, uma tremenda quantidade de energia será liberada” (HAWKING, 2001, p.12). Esta descoberta teve diversas consequências. Uma delas foi a criação da bomba atômica no projeto Manhattan. O físico inglês ainda explica a provável origem desta energia dentro da matéria:

Os núcleos constituem-se de prótons e nêutrons unidos pela força forte. Mas a massa do núcleo sempre é inferior à soma das massas individuais dos prótons e nêutrons que o constituem. A diferença é uma medida da energia de ligação nuclear que mantém o núcleo unido. Essa energia de ligação pode ser calculada com base na relação de Einstein: energia de ligação nuclear = Δmc^2 , em que Δm é a diferença entre a massa do núcleo e a soma das massas individuais. É a liberação dessa energia potencial que cria a força explosiva devastadora de um dispositivo nuclear. (HAWKING, 2001, p. 14).

Com a citação acima, percebemos que a energia está dentro da matéria. Ela está contida nas substâncias ou, como Bachelard (1984) afirma, substância e energia são uma coisa só. Não compartilhamos esta ideia, porém acreditamos que a relação entre a substância e energia é estreita, fazendo com que a substância sofra influência direta de fatores energéticos.

A ideia de que substância e energia são a mesma coisa ou que se relacionam, explica diversos fenômenos, não somente aqueles à nível nuclear. Oliveira (1995, p. 09) afirma, por exemplo, que várias reações químicas que eram explicadas apenas pela teoria das colisões efetivas, se processavam por causa de fatores energéticos:

A idéia de choque é tomada de empréstimo à mecânica newtoniana, sendo as moléculas vistas como bolas de bilhar submicroscópicas. Todavia, o choquismo não pôde explicar uma série de fenômenos químicos, como por exemplo a síntese do gás clorídrico a partir de hidrogênio e cloro em fase gasosa. Se o choque é causa determinante das transformações químicas, por que no escuro essa reação não se processa? Seriam as moléculas de cloro e hidrogênio temperamentais? Os fenômenos fotoquímicos levaram cientistas como Perrin a abandonar, no início do século, a idéia de colisão molecular, condicionando as transformações materiais a ações rítmicas geradas pela energia radiante.

A relação estreita entre matéria e energia nos leva a ver a substância como algo que está sempre variando de forma e propriedades e não como uma entidade molecular estável, de forma fixa e com propriedades constantes, como costumamos a representar. Diante dessa visão, representamos as substâncias de forma diferente. Um exemplo disto são as conformações de algumas moléculas orgânicas, como apresentado por Solomons e Fryhle (2005). Porém não é uma visão predominante, visto que em outros casos, devemos representar a substância como algo imutável e fixo, como os núcleos das moléculas na aproximação de Borh-Oppeheimer que, apresentando uma velocidade muito pequena em relação aos elétrons (dentro desta aproximação os movimentos dos núcleos e dos elétrons podem ser tratados separadamente), consideramos que estes possuem uma posição fixa (COELHO et al, 1998).

Nas moléculas orgânicas com grupos ligados apenas por ligações sigma (σ), ou seja, ligações simples, podem sofrer rotações em torno do eixo da ligação. Os arranjos moleculares temporários que resultam dessa rotação se chamam conformações, e cada estrutura possível se chama confômero (SOLOMONS; FRYHLE, 2005). Cada confômero representa a mesma molécula, porém com uma estrutura diferente. Além disso, cada conformação é determinada pela variação de energia potencial em cada rotação.

Fazendo a análise conformacional do etano, por exemplo, percebemos duas conformações: eclipsada e alternada (figura 4). Segundo Solomons e Fryhle (2005), a conformação mais estável, ou seja, encontrada com maior frequência na substância

etano, é a alternada, devido a sua baixa energia. A explicação disso encontramos em Pophristic e Goodman (2001), quando os autores explicam a baixa energia a partir de cálculos da mecânica quântica, em que mostram que a superposição favorável entre orbitais ligantes e antiligantes permite que os elétrons do orbital ligante da ligação C – H pode ser compartilhado com um antiligante. Os autores chamam este fenômeno de “hiperconjugação”.

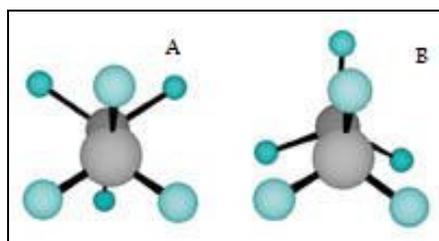


Figura 6. Conformação alternada (A) e eclipsada (B) do etano. A mais estável (de menor energia) é a alternada, devido à hiperconjugação.

Segundo Solomons e Fryhle (2005) a diferença de energia potencial entre as duas conformações da figura acima é de 12 kJ mol^{-1} . Essa energia é considerada uma barreira de rotação, pois é a energia necessária para a molécula passar de uma conformação à outra. Em termos técnicos, esta energia é chamada de barreira torsional. Mas qual a consequência disso na substância etano? Ora, segundo os autores

Podemos responder a essa pergunta de duas maneiras diferentes. Se considerarmos uma única molécula de etano, podemos dizer, por exemplo, que ela passará a maior parte do tempo na conformação alternada de mais baixa energia (...). Se falarmos em termos de um grande número de moléculas de etano (situação mais realística), podemos dizer que a qualquer momento a maioria das moléculas estará na conformação eclipsada (...). (SOLOMONS; FRYHLE, 2005, p. 148).

Com isso, podemos concluir que a substância, segundo esta visão, sempre está mudando de forma e essas mudanças, na maioria das vezes, são devidas a fatores energéticos. Isso terá uma influência direta na representação das mesmas. Ao pensarmos na substância água, por exemplo, dentro da visão clássica, consideramos várias moléculas “H₂O”, em sua forma trigonal, estática e sem interagir com o meio e com propriedades bem definidas. Na nova visão acerca das substâncias químicas, vemos a substância água formada por moléculas que estão se auto-ionizando constantemente, com seus

movimentos rotacionais e vibracionais, além da variação de suas propriedades, dependendo do meio em que a substância estiver. É neste sentido que Bachelard (1984, p. 62) afirma que a substância é como o *devenir*

Ora, este *devenir* não é nem unitário nem contínuo. Apresenta-se como uma espécie de diálogo entre a matéria e a energia. As trocas energéticas determinam modificações materiais e as modificações materiais condicionam trocas energéticas(...). A energia é parte integral da substância; substância e energia são igualmente ser.

Assim, a substância não é o que é, mas sim, o que pode vir a ser. E o que ela pode vir a ser depende de diversos fatores relacionados entre si. Lembrando que esta “mudança” diz respeito à sua forma no espaço e propriedades.

Além dessa relação entre a substância química e energia, que faz com que vejamos o conceito de forma dinâmica e não estável, a substância no século XX é vista com propriedades relacionais e não tão definidas como na visão clássica. Segundo Mortimer (1997), ao propor um perfil conceitual para molécula, afirma que a aplicação da mecânica quântica à química resulta num conceito não-clássico de molécula. Podemos dizer que a mesma coisa acontece com o conceito de substância química. Diante disso, o autor destaca a natureza relacional de muitas propriedades químicas, as quais “nos obriga a pensar essas propriedades como resultantes das interações entre moléculas e não como dependentes unicamente da composição e da geometria característica de cada molécula. Em outras palavras, nós não podemos substancializar essas propriedades químicas” (MORTIMER, 1997, p. 201). Ou seja, diante desta óptica, olhamos as propriedades das substâncias químicas como dependentes das relações entre a substância e o meio em que ela está inserida. Oliveira (1995, p. 09), por exemplo, afirma que “a acidez de um ácido só tem sentido químico se mencionamos o solvente. Não existem ácidos por si, mas algo é ácido em relação a alguma outra coisa”. Isso implica dizer que o ácido clorídrico só apresenta sua característica ácida em solução aquosa, mas não em sua forma gasosa. O autor ainda coloca que “de modo geral, podemos dizer que a substância *não é* nada em si mesma e que as características que lhe atribuímos se constituem, na verdade, em produto de um *jogo relacional*. (...). Em água, HNO₃ tem comportamento ácido; já em um meio de H₂SO₄, atua como base.” (OLIVEIRA, 1995, p. 09).

Seguindo o mesmo raciocínio, só podemos falar no zinco (Zn^{2+}) com a propriedade de redutor se o colocarmos diante de um oxidante, como o cobre (Cu^{2+}). Diante do lítio (Li^{1+}), por exemplo, o zinco irá atuar como oxidante, pois o meio é que irá determinar a propriedade da substância. Ou, quando falamos que substâncias puras possuem pontos de fusão e ebulição bem definidos (água, por exemplo) estamos fazendo uma aproximação, considerando a água como 100% pura (o que não existe na natureza) e determinadas condições de pressão. Em diferentes partes do globo terrestre, um recipiente com água (no seu maior estado possível de pureza) irá apresentar diferentes pontos de ebulição.

Oliveira (1995) levanta outras propriedades que, na visão clássica da química, são consideradas como bem definidas. Uma delas é a eletronegatividade. Segundo o autor, “a eletronegatividade não existe por si mesma enquanto propriedade elementar, mas é produzida na relação entre os átomos dos elementos quando estes se ligam” (p. 10). Outro exemplo é a valência, em que na sala de aula consideramos como uma propriedade elementar as substâncias mas que, na verdade, dependerá das relações entre átomos e/ou moléculas de diferentes substâncias.

Vemos mais alguns exemplos acerca das propriedades relacionais na química orgânica. Na estereoquímica, por exemplo, podemos ter uma mesma substância formada por moléculas enantiômeras, as quais não são superponíveis uma na outra. Com base nesta informação, poderíamos dizer que os enantiômeros são compostos diferentes. Porém, Solomons e Fryhle (2005, p. 195) nos mostram a beleza do raciocínio lógico da nova visão acerca das substâncias, que o racionalismo clássico não é capaz de explicar:

Os enantiômeros têm pontos de ebulição e fusão idênticos. Os enantiômeros têm diferentes índices de refração, diferentes solubilidades em solventes comuns, diferentes espectros no infravermelho e diferentes velocidades de reação com reagentes quirais? A resposta para cada uma dessas perguntas é *não*. Muitas dessas propriedades são dependentes da intensidade das forças intermoleculares atuando entre as moléculas, e para as moléculas que são imagens especulares umas das outras as forças serão idênticas. Os enantiômeros mostram comportamentos diferentes apenas quando eles interagem com outras substâncias quirais.

Mortimer (1997, p. 205) ratifica todas essas ideias, mostrando que várias propriedades que consideramos como elementares e bem definidas são relacionais:

Acidez e basicidade, comportamento redox, efeitos de solventes em reações, são apenas alguns exemplos de propriedades químicas relacionais que dependem da interação entre moléculas e não unicamente da estrutura de uma espécie isolada. Mesmo ácidos minerais fortes com os ácidos sulfúrico e clorídrico podem se comportar como bases quando em presença de poderosos doadores de prótons, como os superácidos. Nesses últimos, ácidos fracos como HF e SbF₅ podem se transformar numa ácido muito mais forte apenas sendo misturados. Essa mistura é ainda mais fortemente ácida na presença de SO₃. Também a energia de processos químicos só pode ser entendida em termos relacionais, pois depende da quebra e da formação de ligações.

Na literatura, encontramos várias críticas acerca da visão clássica do conceito de substância, a qual é predominante na sala de aula. Apresentaremos no tópico a seguir que apesar do conceito de substância tenha se consolidado ao longo da história – do ponto de vista do estatuto epistemológico e científico ele é problematizado, como uma postura de que a ciência não pára e que o espírito científico não sossega.

3.2 Substância: um conceito polissêmico

Neste capítulo, mostramos diversos modos de pensar o conceito de substância, a partir da trajetória histórica deste conceito. Dentro do domínio sócio-histórico percebemos que a substância foi pensada de diversas formas diferentes, em diferentes épocas e que cada forma de pensar expressava a visão científica da sociedade em cada período de tempo.

É importante ressaltar que cada modo de pensar o conceito de substância química não ficou restrito em sua época. Ainda percebemos vestígios do modo de pensar filosófico a substância no século XIX, por exemplo. Hoje, a química lavoisieriana, com as suas substâncias com propriedades bem definidas e seus modelos são úteis na sala de aula, mesmo com o novo paradigma da mecânica quântica. No próximo capítulo veremos os diversos significados atribuídos ao conceito de substância na sala de aula, a partir da revisão de alguns trabalhos sobre concepções de professores e alunos.

Quando olhamos para a sala de aula, percebemos que várias dessas concepções que estudamos neste capítulo ainda estão presentes nos alunos e professores. As concepções prévias/alternativas que muitos alunos apresentam têm similaridades com as ideias levantadas em diversas épocas.

CAPÍTULO 4

O conceito de substância química na literatura em Ensino de Ciências

Segundo a metodologia proposta no capítulo 2 desta dissertação, neste capítulo discutiremos alguns trabalhos da literatura que apresentam estudos sobre a epistemologia do conceito de substância e artigos que levantaram concepções de alunos e professores acerca deste conceito. Conforme já foi colocado, essas concepções representam uma construção de conhecimento, na maioria das vezes centrada na vida cotidiana e/ou escolar e que encerra formas de pensar enraizadas na cultura.

4.2 Levantamento de concepções dos alunos e professores sobre substância

Começamos com o trabalho de Vogelezang (1987). Nesse artigo o autor teve como objetivo explorar algumas concepções que estão presentes no ensino do conceito de substância em um curso introdutório de química (alunos nível de ensino médio) na Alemanha (IPN Chemistry Course).

Segundo o autor, o conceito de substância está mais próximo das experiências reais do aluno em seu dia-a-dia. Para ele, os alunos sempre têm contato com substâncias químicas, mas normalmente não pensam nelas em termos químicos. Vogelezang (1987) relata que alguns alunos pensam que uma barra de ferro é uma substância diferente do pó de ferro. A justificativa disso é que a forma é diferente. Quando o aluno é colocado para classificar materiais dentro de classes de substâncias, o grau de divisão não é invocado como características das substâncias. Diante disso, “coisa” e “substância” teriam os mesmos significados.

Vogelezang (1987) também apresenta o exemplo de substância pura. Segundo o autor, muitas vezes, em problemas de estequiometria, consideramos uma substância ser pura, sem ela o ser mesmo, de fato. Diante disso, o artigo questiona quais aspectos do conceito de substância devemos considerar para o ensino do mesmo, visto seus vários significados.

Em relação aos professores, o trabalho coloca que muitos químicos e professores de química não se preocupam em fazer uma distinção correta entre material (coisa) e

substância. Segundo o autor, é a mesma problemática que existe entre os alunos, porém, dentro do contexto da química, os professores, quando eles são levados a refletir sobre as classificações, conseguem discernir entre um e outro. Para Vogelezang (1987) essa diferença é porque os alunos não possuem variáveis suficientes para fazer a distinção correta, a não ser suas experiências sensoriais.

Vogelezang (1987) ainda discute a questão de propriedades relacionais, no sentido que a definição de substância não se encerra na simples descrição de suas propriedades. Afinal, estas dependem de uma série de fatores, inclusive a quantidade de substância, quando estamos diante de uma propriedade extensiva, pois existem propriedades que em alguns casos depende da quantidade da substância. Pode-se pensar também na pressão de vapor e, conseqüentemente, a temperatura de ebulição de líquidos que dependerá da pressão externa e do grau de pureza da substância. Diante disso, o autor coloca que o conceito de substância necessária no ensino de química deve ter as características que tornam possível determinar se algo é um substância (pura ou não) ou mistura (incluindo a solução).

O artigo de Araújo, Silva e Tunes (1994) teve como objetivo investigar como alunos do Ensino Médio organizam o conceito de substância em relação a outros conceitos. Na coleta dos dados com aplicação de questionários a 374 estudantes numa escola em São Paulo, pudemos observar como alguns alunos concebem o conceito de substância.

Segundo os autores, foram identificados trinta e quatro sistemas de conceitos diferentes nas respostas dos alunos. Na classificação desses conceitos por parte dos alunos, vários critérios eram usados segundo cada problema do questionário. Nas respostas também foram identificadas influências de concepções prévias na hora de exprimir o conceito científico. Em um dos sistemas identificados pelos autores, por exemplo, encontramos a seguinte afirmação de um aluno: “Substância simples é uma substância formada por apenas um elemento químico”. Para os autores, essa resposta exprime uma hierarquia, na qual o conceito de substância simples está inserido dentro de um conceito maior (substância). A mesma coisa acontece com a definição dada pelo mesmo aluno para substância composta, em que ele afirma: “substância composta é uma substância formada por mais de um elemento”. Deste modo, temos a formação de um sistema

conceitual em que os conceitos de substância simples e composta são subordinados ao conceito de substância.

Em relação aos sistemas identificados, os autores afirmam que 5 foram relacionados à pergunta do que é substância e o que é substância composta e outros 5 estavam relacionados com a distinção de materiais homogêneos e heterogêneos. Os outros 24 sistemas foram relacionados com as perguntas sobre o que é mistura e solução. Os autores identificaram alguns critérios que os alunos usavam para coordenar os conceitos. Além disso, eles observaram que alguns alunos davam a mesma definição para conceitos diferentes.

Os alunos também apresentaram sistemas análogos, nos quais os critérios de subordinação e coordenação eram os mesmos. Além disso, os autores identificaram influências de conhecimentos do cotidiano no momento em que os alunos tentavam elucidar os conceitos científicos. Os autores atribuem a diversidade de critérios para classificação dos sistemas à influência dos conceitos do cotidiano. As respostas também foram categorizadas a partir do nível de abstração de cada uma delas. As respostas com um alto nível de abstração foram classificadas como “enunciados”, as que tinham um nível de abstração médio foram classificadas como “operacionais”. Já aquelas respostas que apresentavam nível de abstração muito baixo, os autores classificaram como “factual”. Segundo os autores, a maior parte dos alunos respondeu às perguntas na forma de “enunciados”, colocando os conceitos de forma hierárquica.

Com relação à substância, os autores afirmam que não existe uma definição operacional para esse conceito, pois o verbo “substanciar” (fortalecer, corroborar, resumir) é raramente usado no cotidiano (ARAÚJO; SILVA; TUNES, 1994). Além disso, eles afirmam que no dia-a-dia, os alunos usam a palavra “substância” como sinônimo de “coisa”, “material” ou “elemento” (e não no sentido de “substanciar”). Os autores também identificaram influência do livro didático em alguns sistemas conceituais. Alguns alunos apresentavam sistemas semelhantes àqueles encontrados nos livros.

De todos os conceitos presentes nos sistemas identificados, os autores apontam o de substância como aquele que exige maior grau de abstração por parte dos alunos. Os autores também afirmam que esse conceito sobrepõe o de material, mistura e solução.

Um ponto importante no trabalho, foi identificar um tipo de concepção filosófica ainda existente nos alunos:

Enquanto modernamente se define substância através de uma relação entre mundo concreto (porção da matéria) e mundo abstrato (que tem somente um tipo de constituinte), os alunos usam o termo substância para se referir a qualquer coisa material. A definição, já tão distante, de Aristóteles (substância é cada uma das coisas que existem) é a que permanece para os alunos e para muitos autores de livros didáticos (ARAÚJO; SILVA; TUNES, 1994, p. 89).

Segundo os autores, a definição aristotélica (que relaciona substância com matéria) é a que predomina nos livros didáticos e no cotidiano das pessoas. Diante disso, eles discutem que na escola é necessário apresentar o conceito em forma de relação, a qual evidencie os problemas existentes em trabalhar com a definição aristotélica, para que haja uma aprendizagem efetiva.

Silva, Barbosa e Amaral (2000) também fizeram estudos sobre o conceito de substância química e realizaram um levantamento de concepções de alunos do ensino fundamental. O objetivo do trabalho foi identificar as principais dificuldades dos alunos de oitava série, numa escola em Recife, na compreensão dos conceitos de substância e mistura, a partir de uma metodologia interativa, utilizando diversos instrumentos para a exploração do tema.

A preocupação das autoras surgiu em um trabalho anterior em que Silva (1998), quando foi verificado que a professora utilizava a palavra “substância” para expressar coisas que poluem o rio, certamente, contribuindo negativamente para a construção de um significado químico para este conceito. Diante disso, as autoras afirmam que os professores de ciências, a grande maioria com formação limitada em química, contribuem para reforçar concepções alternativas dos alunos com relação ao conhecimento químico. Assim como outros autores, Silva, Barbosa e Amaral (2000) também perceberam que os alunos usavam o termo “substância” como sinônimo de coisa, material ou elemento.

Nos resultados encontrados pelas autoras, percebemos que alguns alunos trataram substância como sendo elemento químico: “O₃ é uma substância, pois são duas substâncias ou que vão originar outra substância”. Como já mostramos aqui, na história da ciência, por muitas vezes, o conceito de substância se confundia com o de elemento e

vice-versa. Diante disso, as autoras concluem que é importante que o professor adquira uma postura de constante reflexão sobre a sua prática pedagógica para que possa desenvolver estratégias eficientes em sala de aula. Algumas das dificuldades dos alunos foram relacionadas à forma como os conceitos são usados nos livros didáticos do ensino fundamental.

O artigo de Papageorgio e Sakka (2000) teve como objetivo investigar visões de professores de química acerca da composição da matéria, observando concepções relativas aos conceitos fundamentais da química como mistura, elemento químico, compostos, substância pura, solução, molécula e átomo. A amostra foi composta por 75 professores da educação básica de escolas na Trácia, Grécia. A estes professores foram solicitadas definições desses conceitos e a exposição de mapas conceituais. Os resultados exprimiram visões ingênuas sobre os conceitos, que representavam aspectos visíveis do dia-a-dia ou reproduções de definições encontradas em livros didáticos.

Para o conceito de substância pura, Papageorgio e Sakka (2000) encontraram que este conceito é entendido como “uma substância sem mistura” por 57% dos professores. Porém, os autores colocam que mesmo assim, semelhante aos alunos, no dia-a-dia eles usam a palavra “pura” com outro sentido. Além disso, os autores constataram que 20% dos professores fizeram relação do conceito de substância pura com elemento ou composto (apresentando concepções confusas sobre esses conceitos) e 17% estabeleceram relações entre esses conceitos de forma correta. Finalmente, 9% dos professores demonstraram que substância pura e composto são a mesma coisa.

Já com relação aos conceitos de composto e elemento, os autores afirmam que estes são os mais familiares para a maioria dos professores (cerca de 59%). Além disso, as definições dadas são similares às encontradas nos livros didáticos. Mais de 21 professores definiram composto como “a substância que é composta por elementos em proporções específicas e tem diferentes propriedades dos elementos que os constituem” (PAPAGEORGIO; SAKKA, 2000, p. 240. Tradução nossa). Enquanto isso, 9 professores afirmaram que uma substância não pode ser facilmente separada de uma coisa mais simples. Ainda temos que para 19% dos professores, composto vem a ser alguma coisa que é composta a partir de união de elementos em proporções específicas.

Analisando os mapas conceituais, os autores observaram as relações que os professores faziam entre o conceito de composto e elemento. Assim, eles viram que 88% dos professores fazem esta relação de maneira direta (composto é formado por elementos). Porém 29% afirmaram que “alguma coisa que consiste de elementos é um composto”) (p. 140. Tradução nossa). Além disso, 15% dos professores consideraram o ar como composto. Segundo os autores, estudos na área mostram que professores possuem concepções inadequadas sobre ciência ou apresentam ideias que não são cientificamente aceitas. Eles ainda colocam que essas visões inadequadas dos professores influenciam seu comportamento dentro da sala de aula. Além disso, eles apontam que professores que possuem visões distorcidas acerca de conceitos básicos da química são influenciados por elas no momento que estão na sala de aula ou no ensino de laboratório (COSTA, 1997; ABELL; SMITH, 1994). Já os que possuem uma visão sólida a cerca do conceito, são mais eficientes na apresentação dos assuntos para os alunos (NOTT; WELLINGTON, 1996; GESS-NEWSOME; LEDERMAN, 1995). Por fim, Papageorgio e Sakka (2000) destacam que as visões equivocadas dos professores influencia na aprendizagem dos alunos (NOTT; WELLINGTON, 1996; GESS-NEWSOME; JOHNSON, 1998). Vejamos a seguir os resultados encontrados pelos autores, com relação aos conceitos de substância pura, composto e elemento, os quais nos interessam em nossa discussão.

Concluindo o trabalho, os autores afirmam que os professores apresentam concepções alternativas, semelhante ao alunos, e que, estas, geralmente, são de origem sensorial. Resultado semelhante à discussão apresentada por Pozo e Crespo (1998) e à classificação de concepções sobre o conceito de substância encontrada em Silva e Amaral (2010).

Dois trabalhos de Johnson (2000/2002) tiveram como objetivo investigar o desenvolvimento do conceito de substância em adolescente (idades entre 11-14 anos). Em sua pesquisa, o autor coletou os dados ao longo de um período de três anos (1990-1993), com alunos do ensino médio. As sequências didáticas contemplaram uma progressão diferenciada do conceito de substância. A ideia desses artigos centra-se na idéia de transformação química, porém o autor considerou a visão deste conceito em termos de identidade das substâncias envolvidas em processos, por exemplo, de fusão e

ebulição, além dos graus de pureza. A importância que o autor coloca em relacionar substância e reação química é que, por definição, “identificar” uma substância é uma das condições de se verificar uma alteração química, afinal, “dificilmente se pode reconhecer o que é uma transformação de substância se a pessoa não tem uma idéia do que ‘uma substância’ é, em primeiro lugar!” (JOHNSON, 2000, p.719. tradução nossa).

Usando os argumentos de Stavridou e Solomonidou (1998), Johnson (2000) afirmou que crianças não conseguem ver as propriedades das substâncias apenas como uma referência para identificá-las, mas pensam que é algo inseparável das mesmas:

para o químico, por exemplo, uma substância ou composto é caracterizado por suas propriedades, algumas das quais são tomadas como pontos de referência, a fim de identificá-lo, ou reconhecer uma mudança sofrida por ele (ponto de fusão, ponto de ebulição, diferentes espectros, etc.) Percebemos que os alunos têm falta de tais pontos de referência concretos, o que explica que, para eles, o conceito de substância (ou composto) ainda é incerto e, portanto, não operacional. (STAVRIDOU; SOLOMONIDOU, 1989 apud JOHNSON, 2000, p. 720. Tradução nossa).

Além disso, o autor afirma que alguns alunos substancializam algumas propriedades, como cor, cheiro e doçura. Segundo o autor, estes podem ter ganho ou perdido, como se fossem algum tipo de substância extra (JOHNSON, 2000). Somado a isso, os alunos não conseguem ver que uma substância pode alterar suas propriedades mas manter sua identidade.

Na identificação de substâncias, o autor identificou a problemática associada ao uso do termo “substância pura”. Segundo Johnson (2000), a IUPAC trata da pureza de substâncias como uma forma de fixar propriedades e facilitar na identificação das mesmas. Para ele, só podemos falar de substância pura quando temos em mãos uma amostra (quantidade previamente submetida à um processo de purificação). Diante disso, não podemos dizer que uma substância é pura, mas somente uma quantidade fixa previamente purificada. Johnson (2000) afirma que um químico, geralmente, usa em o termo “substância pura” tendo a consciência dos limites desta afirmação, porém o mesmo não acontece com os alunos.

Nos dados coletados pelo autor, foi identificado que os alunos atribuíam a qualidade de pureza não referente à uma amostra, mas aquilo que é natural. Na visão dos alunos, se alguma substância passa por algum processo, ela deixa de ser pura. Por exemplo, o sal

da areia, do mar ou das rochas é puro, mas não o sal de cozinha refinado (JOHNSON, 2000). A sequência didática se seguiu não com o objetivo apenas de coletar essas concepções, mas de trabalhar esse e outros conceitos com os alunos e observar a evolução ocorrida. Os resultados da pesquisa mostraram que uma das principais problemáticas era o uso do termo “substância pura”.

Em 2005, encontramos outro trabalho de Johnson, mostrando os resultados de seu estudo longitudinal a cerca do conceito de substância (JOHNSON, 2005). No seu trabalho, o autor discute suas experiências no ensino de química, destacando a problematização acerca da compreensão do conceito de substância, já apresentada em seus artigos anteriores. Segundo o autor, a falta a distinção entre elementos e compostos era uma característica de pontos de vista dos alunos (JOHNSON, 2005)

A partir da aplicação de uma sequência de aulas, baseadas no novo currículo de ensino de ciências nas séries iniciais das escolas da Inglaterra, dentre outros, ele identificou problemas tais como:

Uma ampla aceitação de que as ideias dos alunos eram extremamente resistentes a mudança (...). A partir de uma leitura desta pesquisa, três aspectos se destacaram como sendo particularmente problemático para os alunos. 1. A concepção do estado gás: gases permanecem como um mistério para a maioria dos alunos. A ideia de um gás como substância estava longe de seu pensamento; 2. A compreensão do fenômeno da mudança química: os alunos não foram capazes para distinguir este de outras mudanças, mas poucos viram isso como uma interação; 3. Compreensão da teoria da particulada da matéria: houve muita confusão entre os níveis de partículas macroscópicas e, poucos parecem ter desenvolvido uma modelo que fosse de alguma utilidade para explicar os fenômenos (JOHNSON, 2005, p. 42. Tradução nossa).

Como nós vimos nos artigos anteriores, esses problemas foram trabalhados ao longo de uma sequência didática, a qual contemplou vários aspectos do conceito de substância química.

Em seu artigo, Loverude (2002) teve como objetivo investigar como alunos de física relacionam energia e matéria. O conceito em foco desse autor foi o de energia, porém, em seus resultados, ele mostra como alguns alunos entendem “energia” como uma

“substância”, havendo um cruzamento entre esses conceitos. Essa relação mostra dois tipos de visões: uma em que os alunos interpretam a energia como uma substância material, apresentando concepções substancialistas e outra em que poucos alunos relacionaram matéria e energia a partir da teoria da relatividade de Einstein.

Segundo Loverude (2002), energia em física é um conceito abstrato e não-material, pois não se trata de uma substância, fluido ou tinta (ARONS,1965). Mesmo assim, o autor mostra que em alguns estudos, por exemplo, estudantes entendem o calor como uma substância material, assim como observamos em outros trabalhos (ver AMARAL; MORTIMER, 2001). Segundo o autor, essas dificuldades são decorrentes de erros de classificação ontológica (CHI et al, 1995). A questão de pesquisa que guiou a investigação foi: as respostas de estudantes de física são compatíveis com a noção de que a transferência de material está dentro de um processo físico e que poderia ser descrito pela transferência de energia? Para operacionalizar esta pergunta, o autor tomou o conceito de massa como uma propriedade definidora de substâncias materiais. Portanto, para um estudante que trata a energia como uma substância material poderia prever um aumento da massa de um objeto que ganha energia, ou uma diminuição de massa quando perde energia. Diante disso, o autor investigou se os estudantes prevêm as mudanças na massa dos objetos nos processos de transferência de energia.

Em sua discussão, o autor toma o cuidado de observar se as respostas dos alunos são relacionadas com a equação de Einstein:

Evidentemente, a equação de Einstein $E = mc^2$ faz prever as mudanças de massa com as mudanças de energia. Embora estas diferenças são muito pequenas, os alunos não podem ter uma idéia da ordem de magnitude dessas diferenças. Portanto, devemos ser cautelosos sobre a classificação das respostas dos alunos como "equivocos", e prestando muita atenção às explicações dos alunos. Apenas um aluno no estudo explicitou a referida equação de Einstein. (LOVERUDE, 2002, p. 01. Tradução nossa).

Os resultados mostram diversas concepções em que os alunos tratam a energia como um fluido ou algo material e outras em que havia uma interpretação com base na equação de Einstein.

Em todos os problemas, muitos estudantes responderam que a massa dos objetos em questão não seria alterada. Segundo o autor, a maioria dos estudantes deu explicações simples que sugerem uma concepção não-material de energia: "nada foi adicionado ou

retirado do sistema." A análise foi concentrada nas respostas que previam mudanças de massa a fim de investigar se essas respostas refletem uma concepção material (substancial) de energia.

Deste modo, o autor constatou que em alguns problemas propostos grande parte dos alunos atribuiu o aumento de massa em materiais devido à transferência de energia. O autor considerou que essas respostas refletem uma visão material de substância. Um exemplo disso foi a questão em que envolvia aquecimento de balões: A questão do balão aquecido afirmava que um balão cheio de hélio era aquecido e se expandia. Os alunos foram perguntados se a massa, volume e densidade do balão aumentavam, diminuía ou permaneciam a mesma. O problema dizia explicitamente que o gás não pode entrar ou sair do balão. Segundo o autor, cerca de 20% dos estudantes previu um aumento de massa quando o balão foi aquecido. As justificativas eram variadas. Muitos estudantes pareciam refletir uma falta de distinção entre massa e volume. Já outras respostas sugeriam uma associação de massa com energia. Essa associação demonstra como alguns estudantes possuem uma visão substancialista da energia, atribuindo 'status' de substância a ela. Porém aqueles em que expremiam a relação massa-energia em termos da teoria da relatividade, possuem uma visão mais sofisticada a cerca do conceito de energia e conseqüentemente substância.

Silveira (2003) apresenta em sua dissertação um trabalho sobre o conceito de substância e sua epistemologia. Em um dos capítulos o autor apresenta um levantamento de concepções encontradas na literatura e livros.

O autor começa apresentando algumas definições encontradas em dicionários de filosofia, língua portuguesa e de química. No dicionário de Filosofia de José Ferrater Mora⁴, Silveira (2003, p.77) achou a seguinte definição:

[...] o interesse pela noção de substância no pensamento grego, se explica em boa parte, pelo tipo de questões que levantaram desde os pré-socráticos, especialmente a questão acerca do que constitui 'verdadeiramente' a realidade do mundo. (MORA, José Ferrater. Dicionário de Filosofia 4, Alianza Editorial, Madrid, 1990, p. 3147.)

⁴ MORA, José Ferrater. Dicionário de Filosofia 4, Alianza Editorial, Madrid, 1990, p. 3147.

Nesta citação, percebemos que o conceito de substância se relacionava com a necessidade de saber a essência das coisas, assim como já apresentamos no capítulo anterior. Ainda em outros dicionários, Silveira, (2003, p.77) encontrou:

Substância: cada uma das espécies de matéria que constituem o universo. Ex: água, oxigênio, açúcar, sal, ferro, etc. (Dicionário Escolar de Química – Editora Ática, 1981.)

Substância: qualquer matéria homogênea considerada com abstração total da forma, dimensão e massa. Substância simples é sinônimo de elemento químico. Substância composta é qualquer composto químico. (Dicionário de Química – Enciclopédia do curso secundário, editora Globo.)

Substância: (do lat. Substantia). S.F. 1. A parte real, ou essencial, de alguma coisa: substância orgânica; substância mineral, a substância do espírito. 2. A natureza dum corpo; aquilo que lhe define as qualidades materiais, matéria: A substância do gelo e da neve é a mesma, porém sob formas diferentes. 3. O que é necessário à permanência material de alguma coisa; o que tem propriedade de força, vigor, resistência: As pirâmides do Egito são obras cujas substâncias atravessam os séculos.[Var., Nesta acepç.: substância.] 4. O que é necessário à vida, o que alimenta : Uma dieta rica em substância. [Var. (Nesta acepç.): substância e (pop.) sustança.] 5. Qualquer matéria caracterizada por suas propriedades específicas: Aplicada a substância na ferida, logo o doente sentiu alívio. 6. O que não é aparente ou superficial, o que realmente importa ao espírito, fundo, conteúdo: O romance é bem escrito, mas falta-lhe substância. 7. O que constitui a base, o ponto fundamental de uma questão, de um assunto, o essencial, o substancial: Concordo em substância, mas temos uns pormenores para discutir. 8. O assunto, o objeto de um pensamento, um texto, uma alocução: a substância de uma mensagem. 9. Filos. Na tradição aristotélica-tomista, o que há de permanente nas coisas que mudam, e que é o suporte sempre idêntico das sucessivas qualidades resultantes das transformações, hipóstase. [Nesta acepç., cf. acidente (8), essência (5) e substrato (4).] [...] - Novo Dicionário da Língua Portuguesa, Aurélio B. de H. Ferreira, 2a ed., 37a impressão, Editora Nova Fronteira, p. 1622.

Nesta breve apresentação de definições encontradas em dicionários, percebemos como o sentido da palavra substância muda, dependendo do contexto. Vemos que vários modos de ver são atribuídos a esse conceito. Até mesmo entre os dois dicionários de química existe diferença em como explicar o termo. Enquanto um apresenta uma visão macroscópica, sem se preocupar com outras classificações (como material, elemento ou átomo) o outro mostra uma visão microscópica, diferenciando de outras classificações.

O autor também revisou alguns trabalhos, levantando diversas concepções de alunos, como mostrado na citação abaixo (SILVEIRA, 2003, p. 78):

- [...] a palavra substância é conhecida pelos alunos antes de aprendê-la formalmente, como sinônimo de coisa, material, elemento ou mesmo como

adjetivo substancial. O mesmo ocorre com o conceito de material: este termo é utilizado no dia-a-dia como sinônimo de coisa . (ARAÚJO et al, 1992, p. 84)

- A concepção dos estudantes sobre substância corresponde ao pré-conceito de substância concreta, igual a do dia-a-dia [...] Um dos principais problemas é que jovens e crianças concebem substâncias químicas como objetos inertes, baseado na experiência comum [...] (SOLOMONIDOU; STAVRITOU, 2000, p. 383)

- A palavra substância é conhecida pelos alunos, como sinônimo de coisa, material e elemento .(BARBOSA et al, 2000)

- Substâncias são reconhecidas e usadas no dia-a-dia como objetos. É reconhecida como um objeto pela sua forma externa, por uma ou duas características perceptíveis e usada como um objeto, por uma de suas propriedades. Mas substâncias não são objetos. (SOLOMONIDOU; STAVRITOU, 2000, p. 383)

- Adicionalmente, as pessoas no dia-a-dia representam as substâncias não unicamente como objetos, mas também como objetos inertes[...] (SOLOMONIDOU; STAVRITOU 2000, p. 383)

Nesses exemplos levantados por Silveira (2003) percebemos que a ideia de que substância pode ser qualquer coisa que encontramos no nosso cotidiano, ou a confusão que o aluno faz entre “substância”, “material” e “elemento” prevalecem nos resultados de várias pesquisas (inclusive nos outros trabalhos que já revisamos neste capítulo). A maioria dos alunos tomam o conceito de “substância” como algo generalizante, e tudo a sua volta se torna sinônimo de substância.

Nesse sentido, o autor se posiciona defendendo o ensino inicial do conceito de substância focando uma visão macroscópica a fim de que os alunos possam relacionar as substâncias com as propriedades e não defini-las a partir de delas.

No seu artigo, Salloum e BouJaoude (2007) tiveram como objetivo investigar ideias de professores de ciências acerca do conceito de substância química⁵, tomando por base a tomada de consciência, por parte deles, das concepções alternativas dos alunos. A base de dados foi constituída a partir da investigação com 43 professores de química e entrevistas com 9 deles, numa escola do Líbano.

Os autores classificaram as concepções identificadas em quatro categorias: a) ideias intuitivas; (b) concepções alternativas coerentes; (c) pontos de vista inconsistente e (d) idéias vagas (SALLOUM; BOUJAOUDE, 2007). Segundo os autores: a categoria (a)

⁵ Em inglês o termo *Chemicals* se refere às substâncias químicas que usamos, normalmente, nos laboratórios. Neste trabalho, o conceito em questão foi o de *chemicals* e não *substance*.

representa concepções em que substâncias químicas são tudo aquilo que possui massa; a categoria (b) representa ideias alternativas coerentes, como por exemplo, a ideia de que substâncias são produtos artificiais, que podem ser prejudiciais à saúde; já a categoria (c) mostra respostas inconsistentes, como, por exemplo, que substâncias químicas formam tudo o que nos rodeiam; e finalmente a categoria (d) são respostas em que o professor não soube se expressar ou apenas reproduziu definições do livro didático.

Os resultados encontrados pelos autores mostram que a maioria das concepções se enquadram na categoria (a) – 44,2%, seguida da categoria (c) – 37,2% e categorias (b) e (d) – 11,6% e 7% respectivamente. Outro resultado que os autores destacam é que as respostas tinham, basicamente, duas naturezas: ou eram concepções com uma dimensão pessoal ou com uma dimensão pedagógica. Isto é, ou eram concepções informais, estruturadas a partir da experiência pessoal de cada um, fora do ambiente formal de ensino ou ideias trabalhadas na sala de aula.

Salloun e BouJaoude (2007) também encontraram algumas concepções em que professores substancializavam propriedades organolépticas das substâncias. Para um dos professores, ao citar exemplo de substâncias químicas em seu dia-a-dia, o cheiro da banana é uma substância. Em outro caso, ele relaciona substância com a capacidade da mesma reagir, ao dizer que “(...) usamos detergente no nosso dia-a-dia. Ele reage com o chão ou qualquer coisa, numa reação química” (SALLOUM; BOUJAOUDE, 2007, p. 48. Tradução nossa). Outro professor, diante da mesma pergunta, citou que as pessoas, quando se fala em substância, já pensam em produtos de limpeza. Porém, na visão dele, substâncias químicas são aquelas usadas no laboratório. Foi pedido para este mesmo professor explicar melhor a sua resposta, citando exemplos. O mesmo disse: “Enquanto outras pessoas dizem isso... que tem várias substâncias químicas em nossa comida ou em todas as coisas, eu, quando penso em um composto químico, o primeiro que vem em minha mente é ácido sulfúrico ou amônia, talvez” (p. 48. Tradução nossa). Essas ideias que exprimem dependência da substância com suas propriedades ou até mesmo a importância na vida humana também foi encontrada em outro professor que definiu substância química como “algo que deveria ser usado cuidadosamente e que contribui em todos os aspectos em nossa vida. Elas são divididas em duas classes: orgânicas e

inorgânicas. Principalmente as orgânicas são importantes para nossa vida” (SALLOUM; BOUJAOUDE, 2007, p. 53. Tradução nossa).

Outro dado interessante levantado pelos autores é a classificação se uma substância é química (produto químico) ou não. Um professor, por exemplo, apresentou este tipo de concepção, fazendo, muitas vezes, referências ao livro didático. Em ambos os casos (neste e nos citados acima) os professores apresentaram concepções de que produtos de limpeza são substâncias químicas (produtos químicos) colocando na mesma classificação de substâncias de laboratório, como ácidos, bases, sais e até mesmo água.

Outro aspecto que destacamos nos dados encontrados por Salloum e Boujaoude (2007) é que boa parte dos professores investigados não sabiam distinguir uma substância química de um material, classificando produtos de limpeza e alimentos como substâncias. Esta ideia é muito frequente em concepções de alunos (como vimos em outros trabalhos aqui revisados), o que só ratifica a hipótese de que muitas vezes as concepções alternativas dos alunos são criadas ou reforçadas na sala de aula (SILVA; AMARAL, 2010).

Com o objetivo de analisar o uso dos conceitos de substância e elemento químico, Soares e Aguiar (2008) acompanharam uma sequência didática que foi registrada em vídeo aplicada a alunos do 8º ano do nível fundamental de uma escola da rede particular de ensino. Os dados analisados foram extraídos de episódios de ensino, em diferentes momentos da sequência, por meio dos quais se indica uma evolução nos usos, por parte dos alunos desses conceitos. Segundo os autores, a pesquisa foi motivada pela constatação do uso indiscriminado pelos estudantes desses conceitos, mesmo no ensino médio.

Apoiados em Vigotski e Bakhtin, os autores examinaram o processo de construção e uso de conceitos enquanto produção mediada de sentidos. Para a análise dos dados os autores utilizaram o conceito de abordagem comunicativa (MORTIMER; SCOTT, 2002) que fornece a perspectiva sobre como o professor trabalha as intenções e o conteúdo do ensino por meio das diferentes intervenções pedagógicas. Soares e Aguiar (2008) analisaram como e em que medida os estudantes do 8º ano do ensino fundamental vão se apropriando desses conceitos em abordagem de ensino sócio-

construtivista. A análise permitiu afirmar a importância da alternância entre discurso dialógico e discurso de autoridade para o processo de elaboração conceitual.

Diante dos resultados encontrados, os autores constataram que os alunos utilizam operacionalmente as definições introduzidas precocemente e não utilizam os conceitos de modo adequado. A definição, que deveria ser uma síntese, geralmente se torna o ponto de partida, o que compromete a aprendizagem dos conceitos.

Uma das discussões na sequência didática que possibilitou a emergência de ideias informais dos alunos foi quanto à natureza da substância Fe. Os alunos debateram, juntamente com o professor na sala, se o ferro que é encontrado no solo e ingerimos nos alimentos é o mesmo ferro encontrado na cadeira da sala de aula. O problema em questão mostra que os alunos não conseguiam conceber a ideia de que um elemento químico pode se apresentar em diversas formas em diferentes compostos. Um dos alunos, por exemplo, afirma que o ferro se torna comestível se for triturado e transformado na forma de pó. Essa ideia é apoiada por outros alunos, deixando evidente a concepção de que o ferro que encontramos em estruturas metálicas se encontra na mesma forma do ferro que ingerimos nos alimentos. Podemos justificar isso pela não diferenciação do conceito de elemento e substância, fazendo com que os alunos não tenham consciência de que um elemento pode se apresentar em diversas substâncias compostas. No decorrer da sequência didática os significados dos alunos foram organizados de maneiras que conceberam a ideia de que o ferro que ingerimos está presente em outras substâncias diferentes do ferro metálico (substância simples ou elementar).

O artigo publicado por Håland (2008) teve como objetivo investigar os conceitos de substância e matéria em um curso de formação de professores na Noruega. Foram entrevistados 31 estudantes do curso introdutório de química, com a utilização de imagens e um roteiro semi-estruturado. As atividades envolvidas na pesquisa envolveram respostas às perguntas sobre fenômenos, atividades práticas e classificação dos materiais.

Os resultados, Håland (2008) discutiu de acordo com a visão teórica de Chi et al (1994) sobre a classificação do que é material e não-material. Foram fornecidos aos alunos

(professores em formação) 29 objetos diferentes para a classificação (foi perguntado se tinha algo em comum entre esses objetos). Logo após, 8 substâncias simples foram fornecidas aos alunos e feita a mesma pergunta. Em seguida, 5 experimentos foram demonstrados a eles: evaporação da água, derretimento da cera de uma vela queimando, o desaparecimento da cera durante a queima da vela, a formação do orvalho (gotas de água em um copo com água gelada) e a dissolução de sal em água. Foi perguntado o que ocorria com cada substância nos experimentos realizados. Por fim, foi aberta uma discussão acerca dos conceitos de substância, elemento e material.

Segundo o autor, a pesquisa revelou vários pontos de vista não-científicos dos conceitos trabalhados. Alguns exemplos:

poucos alunos podiam ver alguma coisa em comum a todos os objetos a serem classificados. Afirmações como "substâncias diferentes" ou "construído a partir de átomos" foram mencionados. Alguns alegaram que a falta de estearina se tornou energia, luz ou calor, e para alguns, havia apenas desaparecido. Outros não tinham explicação para formação de gotículas fora do orvalho. Cerca de 1/3 dos alunos consideraram que a massa não se conserva durante o processo de dissolução ou fusão. (HÅLAND, 2008, p. 02. Tradução nossa).

Quando perguntados diretamente entre a linha divisória entre “substância” e “material”, grande parte dos alunos não conseguiam diferenciá-los, alguns considerando que substância só é aquilo que está no estado sólido.

Em linhas gerais, Håland (2008) afirmou em seus estudos que os alunos possuem uma ideia vaga do que seja realmente uma substância além de suas classificações (simples, composta e pura). Além disso, poucos explicitaram uma visão microscópica em suas respostas.

4.3 A problematização da substância

Oliveira (1995) e Silveira (2003) apresentam uma discussão semelhante no que diz respeito a uma problematização com relação ao conceito de substância que é apresentado atualmente na sala de aula. Usando obras de Bachelard, os autores apresentam questões epistemológicas que emergem ao longo da evolução do conceito

na História e na sala de aula, considerando que no ensino, o conceito de substância ainda é visto sob uma ótica ingênua e realista.

Segundo Bachelard (1940/1984, p. 15), “Mesmo numa ciência muito avançada, as condutas realistas subsistem”. Condutas realistas, para Bachelard, são interpretações simples e grosseiras feitas a realidade. São concepções formadas que negam qualquer tipo de questionamento. Silveira (2003), com relação à ideia do filósofo francês, afirma que desde os seus primórdios a Química tem sido fortemente marcada pelo realismo. É neste sentido também que o autor justifica o substancialismo bachelardiano e a crítica do filósofo à química realista:

A química é real, pois estuda as substâncias e estas são reais – possuem formas definidas, são palpáveis e se caracterizam por propriedades detectáveis aos olhos do observador, ou seja, pode ser medida a massa, sentido o odor, o sabor, medida a temperatura de mudança de fases, entre outras coisas, ela é “real”. Esta relação entre o realismo do olhar (do concreto) com as substâncias e “suas” propriedades vai fundamentar o substancialismo e caracterizar um dos mais difíceis obstáculos a ser rompido dentro da química. (SILVEIRA, 2003, p. 42).

Para Bachelard (1940/1984), esse realismo ainda existe na química do século XX. Para o filósofo, a química é permeada pelo espírito realista e substancialista. Isso pode ser observado se estudarmos os significados atribuídos ao conceito de substância pela própria Química. Segundo Bachelard (1940/1984, p.31) “Beneficiar-se-á (a química) também do fato de as verdadeiras substâncias químicas serem mais produtos da técnica do que corpos encontrados na realidade”. Ou seja, para o autor, as substâncias químicas não existem em nosso mundo real, mas são produtos da técnica ou um modelo criado pela química, o qual, segundo ele, a própria química se beneficia. A substância água, por exemplo, não é encontrada na Natureza em sua forma pura. Mas, diante das técnicas de purificação, é possível separar a água de outras substâncias, alcançando alto grau de pureza (o que chega próximo de ser realmente a substância água). Diante disso, o autor demonstra preocupação com o uso da noção de substância o que o faz levantar uma crítica ao substancialismo e realismo na química (quando a substância é tratada de maneira real e materialista).

A maior crítica de Bachelard ao conceito de substância está na ação de defini-la a partir de suas propriedades, concepção que se encontra em muitos livros didáticos, fazendo com que alunos e professores a reproduzam. Para Bachelard (1940/1984, p. 36):

Outras experiências científicas podem mostrar que a Física contemporânea consegue trabalhar sob a qualidade química, invertendo a ordem epistemológica fixada por Augusto Comte. Korzybski assinala este declínio substancialista da antiga filosofia química apoiando-se no seguinte exemplo: ‘A nova Física das altas pressões mostra claramente que muitas das antigas características das substâncias são apenas funções acidentais da pressão e da temperatura’. A alta pressão podem realizar-se reações que a Química de primeiro exame não admitiria.

Diante disso, as propriedades que conhecemos hoje das substâncias são funções de pressão e temperatura. Não podemos dizer que uma substância possui propriedades bem definidas, pois as mesmas variam conforme as condições do sistema.

Para o autor, essa substância química, definida por suas propriedades, que o realista tanto gostava de considerar como exemplo de uma matéria estável e bem definida, só interessa verdadeiramente ao químico se ele a fizer reagir com outra matéria (BACHELARD, 1938/1996). Uma substância isolada, por si só não apresenta suas devidas propriedades. Oliveira (1995) afirma, por exemplo, que quando se fala da acidez de uma substância, por exemplo, se imagina que essa propriedade é a essência da substância ácida, porém, como o autor afirma, “a acidez de um ácido só tem sentido químico se mencionamos o solvente. Não existem ácidos por si, mas algo é ácido em relação a alguma outra coisa” (OLIVEIRA, 1995, p.09). Ou seja, para o Bachelard, as propriedades são relacionais. Essa concepção de propriedades relacionais não existe no espírito realista.

Segundo Bachelard, a Química clássica é totalmente imbuída de realismo. Diante disso, segundo a Química clássica, é possível definir com precisão as propriedades de uma substância sem ter em conta as operações mais ou menos precisas que permitem isolá-la. Segundo Bachelard (1940/1984, p.41):

Decidiu-se assim da solução de um problema sem se perguntar se este problema não seria suscetível de várias soluções. Com efeito, não é evidente que a determinação substancial possa ser completa, que se possa falar de uma substância absolutamente pura, que se possa, através do pensamento, levar até ao limite o processo de purificação, que se possa definir a sua substância absolutamente, separando esta substância das operações que produzem. Supor um limite ao processo de purificação é fazer passar o realismo grosseiro e ingênuo à categoria de um realismo científico e rigoroso. Ao estudar mais de perto o método operatório veremos que esta passagem ao limite é incorreta. (...) O realismo em Química é uma verdade de primeira aproximação; mas, em segunda aproximação, é uma ilusão.

Quando falamos da substância água, por exemplo, dizemos que ela tem suas propriedades bem definidas somente se ela estiver 100% pura. Ou seja, as propriedades de uma substância só podem ser definidas quando essa substância está isolada de todas as outras, sem impurezas. E isso é algo que não existe na natureza e, nem com os mais sofisticados aparelhos de purificação, é possível obter. Diante disso, a noção de substância se torna um modelo na química, o qual não existe no mundo real. Ou, como o próprio Bachelard afirma, uma “ilusão”. Além disso, falar em substância pura seria uma redundância, visto que se não é pura não é mais substância e sim, uma mistura, segundo a classificação atual encontrada nos livros didáticos. Outra visão realista atribuída ao conceito de substância é a visão empirista do conceito. Para Bachelard, a química Lavoisieriana (empirista) é realista, em tratar as substâncias como reais, definindo suas propriedades isoladamente.

Segundo Oliveira (1995), desde Lavoisier a Química tem sido vista como ciência que estuda as substâncias e suas propriedades. Diante disso, além do espírito realista da Química clássica, o autor apresenta a visão substancialista do conceito, principalmente no que concerne às propriedades.

Para ele, Bachelard (1938/1996) afirma que esse pensamento remonta aos períodos anteriores à Química clássica, na Alquimia. Para Bachelard (1938/1996) o espírito pré-científico considera que a substância tem um interior; melhor, a substância é um interior. E essa crença levou os alquimistas a tentarem “abrir” as substâncias, na perspectiva de alcançar e desvelar qualidades ocultas. Substância, neste caso, possui um significado mais filosófico e metafísico do que químico e material, sendo entendida como a essência da matéria.

Para Oliveira (1995), esse significado metafísico, o qual substancializa as qualidades interiores da matéria, permanece nos dias atuais: “O substancialismo, ou seja, a idéia de que as propriedades substanciais são atributos inalienáveis, permanece na química pós-lavoisieriana” (OLIVEIRA, 1995, p.08). Ele ilustra essa afirmação usando uma citação de Bachelard (1972):

Ilustrando tal permanência, sublinha a surpresa que o oxigênio revela: o gerador de ácidos não possui propriedades ácidas. A esse respeito, salienta ainda que: ‘Para um tal substancialismo, a substância mantém em toda

propriedade as suas propriedades e se faz referência à definição predicativa da substância. Então as definições de designação são tomadas por definições do ser. A análise material é uma análise gramatical'. (BACHELARD, 1972, p.77 apud OLIVEIRA, 1995, p.08).

Isso quer dizer que a substância não apresenta propriedades, mas ela é a própria propriedade dos materiais. Bachelard critica esse tipo de visão e relaciona essa visão com as concepções que temos hoje sobre as propriedades das substâncias.

O autor também discute a visão substancialista em relação às moléculas e átomos que formam a substância. Oliveira (1995) argumenta que propriedades substanciais são transferidas às moléculas. Em contraposição, o autor afirma que as propriedades surgem a partir das relações entre um conjunto de moléculas. Diante disso, podemos dizer que as propriedades das substâncias fazem parte de um jogo relacional e que a substância não é nada em si mesma (OLIVEIRA, 1995).

Segundo Silveira (2003), Bachelard afirma que o conceito de substância vai se desenvolvendo a partir da capacidade de racionalização, isto é, de construção do real. O autor argumenta que para Bachelard o vetor epistemológico predominantemente vai sempre do racional ao real. Segundo o filósofo francês, a noção de substância fica próxima de uma visão racionalista quando se trabalha na área de síntese de compostos. Para ele, “qualquer substância química só é verdadeiramente definida no momento da sua reconstrução. É a síntese que pode fazer-nos compreender a hierarquia das funções” (BACHELARD, 1938/1996 p. 32).

Bachelard afirma que o conceito de substância está próximo do racionalismo, quando se refere ao período histórico de construção da tabela periódica por Mendeleiev. Segundo Silveira (2003, p.64), Bachelard afirma que “quando Mendeleiev consegue ordenar as substâncias simples, a partir do seu peso atômico, está constituído um dos pilares para a formação de uma nova filosofia da matéria”. Nas palavras de Bachelard (1953, p. 101 apud SILVEIRA, 2003, p.64): “De todos os modos, é na organização numérica, neste materialismo racional que institui a ordem dos elementos separados por uma unidade elementar, que aparecem os matizes filosóficos que nenhuma filosofia da matéria conheceu antes do séc. XX”.

Bachelard (1940/1984, p. 34) ainda destaca o caso da lei que antecede o fato, no sentido de que nesse momento histórico a ordem das substâncias impõe a racionalidade:

Basta-nos aqui sublinhar-lhe o caráter racionalista. Com efeito, estudando o princípio das investigações que nasceram da organização das substâncias elementares de Mendeleiev, verifica-se que pouco a pouco a lei antecede o fato, que a ordem das substâncias impõe como uma racionalidade. Que melhor prova se pode dar ao caráter racional de uma ciência das substâncias que consegue prever, antes da descoberta efetiva, as propriedades de uma substância ainda desconhecida? O poder organizante do quadro de Mendeleiev é tal que o químico concebe a substância no seu aspecto formal antes de a captar nos seus aspectos materiais.

A química, a partir desse momento, começa a ser marcada pelo racionalismo clássico, a partir da influência das descobertas das leis ponderais, uso racional da balança e incorporação de modelos atômicos para a matéria (SILVEIRA, 2003).

O conceito de substância também se aproxima de sua forma racional, dialetizada, a partir do século XX com a emergência da mecânica quântica. Bachelard (1938/1996) discute as relações massa-energia, quando a substância começa a ser entendida não somente por suas propriedades (as quais devem ser vistas como relacionais), mas suas relações com a energia durante as transformações, nas quais o autor denomina de substância como *devenir*. Segundo Bachelard (1940/1984) aqui estamos na química não-lavoisieriana, se opondo a visão anterior das propriedades absolutas. Segundo Silveira (2003, p. 67), Bachelard considera que o racionalismo das substâncias químicas permite olhar as propriedades como fruto de interações e relações, ou seja, uma substância planejada a partir de um conhecimento racional da matéria e de uma técnica mais apurada, como podemos verificar em Bachelard quando ele comenta sobre a substância sem acidentes.

Assim, o filósofo francês afirma que a química lavoisieriana interpreta um fenômeno considerando em tempos específicos, inicial e final, não considerando as trocas energéticas entre as substâncias e as fases intermediárias da reação (SILVEIRA, 2003). Ao pensar na substância como *devenir*, estamos nos distanciando ainda mais da substância aristotélica, a qual representa o Ser. O Ser é *uno*, ou seja, algo imutável e eterno. Segundo Chauí (1996, p.211): “O Ser é imutável, o *devenir* é uma ilusão de nossos sentidos”.

De forma semelhante, Oliveira (1995) afirma que a partir do século XX as reações químicas não podiam mais ser interpretadas por meio das colisões newtonianas entre as moléculas das substâncias. Agora, fatores energéticos se relacionavam com as transformações químicas, as quais ocorriam a partir das interações entre as moléculas. O balanço massa-energia fazia com que a substância fosse considerada como um *devir*. O autor afirma que este devir não é nem unitário nem contínuo. Apresenta-se como uma espécie de diálogo entre a matéria e a energia. As trocas energéticas determinam modificações materiais e as modificações materiais condicionam trocas energéticas. A energia é parte integral da substância; substância e energia são igualmente ser (BACHELARD, 1940/1984).

Na discussão anterior, observamos que na história podem ser destacados vários momentos epistemológicos para o conceito de substância e analisadas as visões que permanecem ainda hoje nas salas de aula. Concordamos com Oliveira (1995) e Silveira (2005) no que diz respeito ao século XX e a racionalização do conceito. Porém, consideramos que essa racionalização começou na Química clássica lavoisieriana, com a idéia de que podemos compreender a matéria a partir da sua constituição por diversas substâncias. A visão de que podemos compreender as substâncias como compostas por diversos elementos representa um compromisso epistemológico racional sobre a substância, principalmente quando traz a possibilidade de isolá-la e identificá-la.

No próximo capítulo apresentamos os resultados da pesquisa empírica, realizada com alunos do Ensino Médio e licenciandos em Química.

CAPÍTULO 5

Resultados da pesquisa empírica

Como parte da metodologia proposta nesta dissertação, realizamos um levantamento de dados na sala de aula. Com isso, complementamos os dados coletados em outras fontes, a saber, fontes secundárias da História da Química e trabalhos na literatura em Ensino de Ciências. Considerando que a coleta de dados em sala de aula é feita a partir de interações com os sujeitos da pesquisa, ressaltamos que aqui estamos tratando de dados que predominantemente emergem no domínio ontogenético (questionário e entrevista) e microgenético (entrevista).

Como apresentamos na metodologia, aplicamos um questionário a 72 alunos do ensino médio (2º e 3º ano), das escolas já citadas e 15 graduandos em licenciatura em química da UFRPE. Dessa forma, contemplamos turmas de 2º e 3º anos do ensino médio e alunos do ensino superior. Diante disso, pudemos observar concepções diversas que emergem em diferentes níveis de ensino, e que podem representar ideias usadas em contextos diversos.

Após a aplicação do questionário, selecionamos alguns alunos para serem entrevistados, com a finalidade de aprofundar a compreensão de concepções encontradas nas respostas desses alunos. Com isso, 10 alunos do ensino médio participaram das entrevistas realizadas em dois momentos distintos, com grupos de 5 alunos, como já apontamos na metodologia. O questionário e o roteiro da entrevista semi-estruturada estão no apêndice 1 e 2, respectivamente.

5.1 Análise dos questionários

Analisamos os questionários categorizando as diversas respostas, considerando o modo de pensar que elas representavam. Esta primeira análise nos possibilitou identificar diversas concepções apresentadas pelos alunos naquele contexto. As categorias encontradas no questionário foram ratificadas e algumas retificadas a partir da entrevista, o que nos possibilitou levantar dados além das respostas ao questionário. Ao todo, identificamos 33 modos de falar entre os alunos do ensino médio e superior que

representavam modos de pensar acerca do conceito de substância. No decorrer da análise, como mostraremos ao longo deste capítulo, esses modos de falar foram inseridos em categorias mais gerais, juntamente com as concepções encontradas em outras fontes, até chegarmos às zonas propostas para o perfil conceitual.

A seguir, apresentaremos a análise das respostas aos questionários, divididas por alunos de ensino médio e superior. Ao final da apresentação dos dados, apresentamos uma breve discussão acerca dos dados mostrados. No quadro 2 abaixo, apresentamos os modos de falar categorizados com respostas que justificam tal classificação.

Modos de falar	Respostas dos alunos
Apresenta as substâncias como sendo formadas por elementos químicos	“Substância é um agregado de elementos químicos” (aluno do 3º ano – Colégio de Aplicação UFPE)
Define substância a partir da diferenciação entre substância, elemento químico e mistura	“Substância pode ser entendida como um composto formado por um único elemento ou por mais de um elemento (...)” (aluno do 2º ano – Colégio de Aplicação UFPE)
Define substância pura a partir da definição formal da química	“Substância pura é aquela que possui características físicas e químicas bem definidas” (Licenciando)
Tem consciência de que os elementos aristotélicos não são os mesmos elementos estudados na química	“A visão de elemento da filosofia não é semelhante com a visão que temos hoje. Mas, consideramos que a Terra possui os mais diversos elementos químicos, em conjunto com a água e o ar (...)” (aluno do 2º ano – Colégio de Aplicação UFPE)
Define substância a partir das propriedades físicas, químicas ou organolépticas	“Substância pura é aquela que tem todas as propriedades distribuídas igualmente. Um modo de se comprovar se a substância é pura é aquecendo-a. Se os pontos de fusão e ebulição permanecerem constantes, a substância é pura” (aluno do 2º ano – Colégio de Aplicação UFPE)
Define substância a partir das suas classificações (simples, composta, orgânica, inorgânica)	“Substância é qualquer composto orgânico ou inorgânico” (aluno do 2º ano – Colégio de Aplicação UFPE)
Define substância como sinônimo de	“Remédios, produtos de higiene, alimentos e etc são todos substâncias

coisa ou objeto	químicas, pois a partir de ‘elementos primitivos’ eles são quimicamente alterados para melhor nos servir” (aluno do 3º ano – Colégio de Aplicação UFPE)
Relaciona substâncias com tudo que nos rodeia	“Substância é tudo aquilo que está em nossa volta. Quase tudo o que vemos no mundo é uma substância química” (aluno do 2º ano da escola da Rede Pública)
Confunde substância pura com a definição de substância simples	“Substância pura é aquela formada por um mesmo elemento químico” (Licenciando)
Apresenta uma visão compatível com aquela de que os quatro “elementos” aristotélicos são primordiais	“...o calor do Sol é fundamental à vida junto com água e ar, tanto que são consideradas condições primitivas para a existência da vida (...)”(aluno do 3º ano – Colégio de Aplicação UFPE)
Apresenta uma visão de que a Natureza é formada por elementos	“Não concordo com a visão filosófica pois hoje em dia existem vários outros elementos na Natureza” (aluno do 2º ano da escola da Rede Pública)
Apresenta uma visão de que os elementos aristotélicos são formados por diversos átomos	“Hoje em dia sabemos que a água, terra, ar e fogo não são os elementos primordiais, eles já são exemplos da interação entre átomos” (aluno do 2º ano – Colégio de Aplicação UFPE)
Apresenta uma visão de que a Natureza é formada por diversas substâncias	“Na Natureza existem muitas outras substâncias além dessas (...)” (Licenciando)
Usa a ideia de substância no sentido de “essência”	“Substância pode significar existência” (aluno do 2º ano – Colégio de Aplicação UFPE)
Relaciona substância com aquilo que é natural ou pode ser sintetizado	“Substância é a forma na qual existe na Natureza ou pode ser sintetizada a partir de uma determinada matéria (espécie) química” (Licenciando)
Relaciona as propriedades com os benefícios/malefícios aos seres humanos ou importância dela na vida	“As propriedades são importantes para sabermos o que ela (substância) tem e que produtos podemos usar. Se é perigoso ou não” (aluno do 2º ano da escola da Rede Pública)

Considera as propriedades como características essenciais para se conhecer a substância	“Se não conhecermos as propriedades, não podemos identificá-la (a substância)” (aluno do 2º ano da escola da Rede Pública)
Define substância a partir da sua capacidade de reagir com outras	“Substância química é toda substância que gera uma reação química” (aluno do 2º ano da escola da Rede Pública)
Associa substância à industrialização	“Substância é uma coisa que pode ser industrializada” (aluno do 2º ano da escola da Rede Pública)
Concorda com a visão de que as substâncias são essenciais à vida	“A química tem suas substâncias, pois sem as substâncias a química não teria vida” (aluno do 2º ano da escola da Rede Pública)
Considera como substância processos que ocorrem com os materiais	“O calor é uma substância, pois os corpos absorvem ou liberam calor” (Licenciando)
Não distingue aspectos macroscópicos de microscópicos na caracterização da substância	“Sim, o ponto de ebulição de uma molécula de água é 100°C” (Licenciando)
Usa o termo “substância” para expressar algo material	“Substância está no sentido de matéria ou conteúdo (...)” (aluno do 3º ano – Colégio de Aplicação UFPE)
Demonstra visão relacional das propriedades das substâncias, tendo consciência de que elas variam com o meio	“As propriedades das substâncias podem variar por influência externa, como condições do ambiente ou de elementos da mistura” (aluno do 3º ano – Colégio de Aplicação UFPE)

Quadro 2. Modos de falar dos alunos de diversos níveis de ensino sobre substância

5.1.1 Alunos do ensino médio

Constatamos que vários modos de falar eram explicitados em um único questionário, o que confirma o pressuposto colocado anteriormente de que um único indivíduo pode apresentar diferentes concepções referentes a um mesmo conceito. No quadro 1 abaixo encontram-se os modos de falar categorizados entre os 22 alunos do 2º ano da escola da Rede Pública, com a indicação de quantas respostas referentes ao modo de pensar foram identificadas, dentro de um universo de 198 respostas possíveis, visto que tínhamos 9 questões a serem respondidas por 22 alunos.

Modos de falar	Número de respostas
Define substância como sinônimo de coisa ou objeto	20
Relaciona as propriedades das substâncias com os benefícios/malefícios aos seres humanos ou importância dela na vida	24
Considera como substância processos que ocorrem com os materiais	14
Apresenta as substâncias como sendo formadas por elementos químicos	9
Define substância pura a partir da definição formal da química⁶	5
Define substância a partir da sua capacidade de reagir com outras	4
Apresenta visão de que a Natureza é formada por elementos	4
Demonstra visão relacional das propriedades das substâncias, tendo consciência de que elas variam com o meio	3
Considera as propriedades como características essenciais para se conhecer a substância	2
Define substância a partir das propriedades físicas, químicas ou organolépticas	1
Define substância a partir da diferenciação entre substância, elemento químico e mistura	1
Visão de que as propriedades das substâncias são bem definidas em qualquer meio	1
Associa substância à industrialização	1
Relaciona substâncias com tudo que nos rodeia	1
Respostas que não permitiram análise	24
Questões em branco	89

Quadro 3. Modos de falar de alunos do 2º ano do Ensino Médio da escola da Rede Pública.

⁶“Uma substância pura (em geral, chamada simplesmente de substância) é a matéria que tem propriedades distintas e uma composição que não varia de amostra para amostra”. Brown, T. L. Química, a ciência central; São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

Percebemos que os modos de falar que apareceram com maior frequência entre as respostas, respectivamente, foram: “Relaciona as propriedades das substâncias com os benefícios/malefícios aos seres humanos ou importância dela na vida” (24), “Define substância como sinônimo de coisa ou objeto” (20), “Toma as propriedades das substâncias como sendo a própria substância” (14) e “Apresenta as substâncias como sendo formadas por elementos químicos” (9). Diante disso, percebemos a predominância de modos de falar não científicos. O elevado número de respostas em branco, não somente nesse quadro mas nos outros referente à mesma escola, se justifica pela grande dificuldade desses alunos em responder o questionário. Muitos alunos não conseguiam responder as perguntas e, portanto, o grande número de abstenções. A dificuldade encontrada nesses alunos pode ser justificada pelo elevado nível do questionário em relação ao nível dos alunos, falta de compreensão das perguntas ou mesmo indisposição em responder o questionário.

A seguir, no quadro 2, apresentaremos os modos de falar identificados nos alunos do 2º ano do Colégio de Aplicação. Percebemos que muitos dos modos de falar são semelhantes àqueles encontrados nos alunos da rede estadual. No entanto os números diferem significativamente para estes alunos no que diz respeito à natureza das respostas. Nesses alunos percebemos uma frequência maior de modos de falar cientificamente aceitos.

Modos de falar	Número de respostas
Apresenta as substâncias como sendo formadas por elementos químicos	46
Define substância a partir da diferenciação entre substância, elemento químico e mistura	22
Demonstra visão relacional das propriedades das substâncias, tendo consciência de que elas variam com o meio	20
Considera como substância processos que ocorrem com os materiais	19
Relaciona as propriedades das substâncias com os benefícios/malefícios aos seres humanos ou importância dela na vida	14

Usa substância no sentido de “essência”	14
Confunde substância pura com a definição de substância simples	12
Apresenta uma visão de que os elementos aristotélicos são formados por diversos átomos	11
Considera as propriedades como características essenciais para se conhecer a substância	11
Define substância a partir das propriedades físicas, químicas ou organolépticas	10
Tem consciência de que os elementos aristotélicos não são os mesmos elementos estudados na química	8
Usa o termo “substância” para expressar algo material	7
Define corretamente substância pura a partir da definição formal da química	7
Apresenta uma visão de que a Natureza é formada por elementos	5
Define substância como sinônimo de coisa ou objeto	3
Visão de que as propriedades das substâncias são bem definidas em qualquer meio	2
Define substância a partir das suas classificações (simples, composta, orgânica, inorgânica)	1
Respostas que não permitiram análise	9
Questões em branco	2

Quadro 4. Modos de falar identificados entre alunos do 2º ano do Ensino Médio do Colégio de Aplicação - UFPE

Com o questionário aplicado a 25 alunos, tivemos a possibilidade de levantar 225 respostas. Entre esses alunos percebemos um número muito baixo de abstenções com apenas 2 questões em branco. Os modos de falar mais frequentes foram: “Apresenta as substâncias como sendo formadas por elementos químicos” (46), “Define substância a partir da diferenciação entre substância, elemento químico e mistura” (22), “Demonstra visão relacional das propriedades das substâncias, tendo consciência de que elas variam com o meio” (20) e “Toma as propriedades das substâncias como sendo a própria substância (substancialismo)” (19).

Entre os alunos do 3º ano do Colégio de Aplicação, encontramos modos de falar semelhantes, porém com uma frequência diferente. No quadro 3 a seguir, apresentamos as categorias identificadas, juntamente com o número de respostas em um universo de também 225 possíveis (25 alunos).

Modos de falar	Número de respostas
Apresenta as substâncias como sendo formadas por elementos químicos	41
Demonstra visão relacional das propriedades das substâncias, tendo consciência de que elas variam com o meio	21
Define substância a partir da diferenciação entre substância, elemento químico e mistura	19
Considera como substância processos que ocorrem com os materiais	17
Relaciona as propriedades com os benefícios/malefícios aos seres humanos ou importância dela na vida	15
Define substância como sinônimo de coisa ou objeto	10
Apresenta uma visão de que a Natureza é formada por elementos	9
Relaciona a definição de substância unicamente com suas propriedades	9
Confunde substância pura com a definição de substância simples	8
Usa o termo “substância” para expressar algo material	8
Define substância a partir das propriedades físicas, química ou organolépticas	7
Define substância pura a partir da definição formal da química	6
Usa a ideia de substância no sentido de “essência”	6
Considera as propriedades como características essenciais para se conhecer a substância	5
Define substância a partir da sua capacidade de reagir com outras	4
Apresenta uma visão de que os elementos aristotélicos são formados por diversos átomos	4

Tem consciência de que os elementos aristotélicos não são os mesmos elementos estudados na química	4
Visão de que as propriedades das substâncias são bem definidas em qualquer meio	2
Apresenta uma visão compatível com aquela de que os quatro “elementos” aristotélicos são primordiais	2
Não distingue aspectos macroscópicos de microscópicos na caracterização da substância	1
Respostas que não permitiram análise	15
Questões em branco	12

Quadro 5. Modos de falar de alunos do 3º ano do Ensino Médio do Colégio de Aplicação - UFPE.

As respostas mais frequentes entre os alunos do 3º ano foram em relação aos seguintes modos de falar: “Apresenta as substâncias como sendo formadas por elementos químicos” (41), “Demonstra visão relacional das propriedades, tendo consciência de que elas variam com o meio” (21), “Define substância a partir da diferenciação entre substância, elemento químico e mistura” (19), “Toma as propriedades das substâncias como sendo a própria substância” (17).

5.1.1.1 Discussão dos dados

Os dados mostrados no quadro referente aos alunos da Rede Estadual de ensino nos mostram que modos de falar que são comumente usados no senso-comum predominaram nas respostas dos alunos. A maioria das respostas não apresentava uma diferenciação coerente entre os conceitos de substância, elemento químico e material, demonstrando que muitos alunos ainda não possuem uma compreensão desses conceitos. Além disso, ideias não-científicas, como a relação entre as propriedades das substâncias e o bem (ou mal) estar que estas podem causar ao ser humano, foram comuns. Os modos de falar mais próximos de uma visão científica do conceito de substância foram poucos frequentes. Além disso, observamos um grande número de questões em branco. Vários fatores podem explicar esse fato, um deles pode ser a falta de conhecimento para responder ou indisposição em responder o questionário.

Fazendo uma comparação entre os alunos da escola da Rede Estadual e do Colégio de Aplicação, percebemos perfis diferentes no que diz respeito ao nível de compreensão do conceito de substância. Além do baixo número de abstenção entre os alunos do Colégio de Aplicação, percebemos que modos de falar cientificamente aceitos foram predominante nas duas turmas analisadas. Porém, mesmo com um perfil demonstrando um nível elevado de conhecimento do conceito de substância, modos de falar não-científicos, como ideias do senso-comum, emergiram no questionário.

5.1.2 Licenciandos

Aplicamos o mesmo questionário a alunos do Curso de Licenciatura em Química, quando estavam assistindo aula da disciplina de Didática. Os modos de falar, em sua maioria, são semelhantes aos encontrados entre os alunos. Os resultados estão no quadro 4 abaixo, seguido do número de respostas, em um universo de 153 possíveis, visto que o aplicamos o questionário a 17 alunos.

Modos de falar	Número de respostas
Apresenta as substâncias como sendo formadas por elementos químicos	20
Define substância como sinônimo de coisa ou objeto	15
Demonstra visão relacional das propriedades das substâncias, tendo consciência de que elas variam com o meio	14
Considera como substância processos que ocorrem com os materiais	14
Define substância a partir das propriedades físicas, químicas ou organolépticas	12
Considera as propriedades como características essenciais para se conhecer a substância	11
Define substância a partir da diferenciação entre substância, elemento químico e mistura	8
Confunde substância pura com a definição de substância simples	5
Tem consciência de que os elementos aristotélicos não são os mesmos elementos estudados na química	5

Define substância a partir da capacidade em reagir com outras substâncias	5
Define substância pura a partir da definição formal da química	3
Relaciona as propriedades com os benefícios/malefícios aos seres humanos ou importância dela na vida	3
Usa o termo “substância” para expressar algo material	3
Apresenta uma visão de que a Natureza é formada por elementos	3
Usa a ideia de substância no sentido de “essência”	2
Apresenta uma visão compatível com aquela de que os quatro “elementos” aristotélicos são primordiais	2
Relaciona substância com aquilo que é natural ou pode ser sintetizado	1
Apresenta uma visão de que a Natureza é formada por diversas substâncias	1
Relaciona substâncias com tudo que nos rodeia	1
Apresenta uma visão de que os elementos aristotélicos são formados por diversos átomos	1
Respostas que não permitiram análise	11
Questões em branco	13

Quadro 6. Modos de falar identificados entre os licenciandos do curso de Química

Entre os licenciandos, observamos que as categorias mais frequentes foram: “Apresenta as substâncias como sendo formadas por elementos químicos” (20), “Define substância como sinônimo de coisa ou objeto” (15), “Demonstra visão relacional das propriedades das substâncias, tendo consciência de que elas variam com o meio” (14) e “Toma as propriedades das substâncias como sendo a própria substância” (14).

Percebemos algumas diferenças entre as respostas dos licenciandos as respostas dos alunos do Ensino Médio. Primeiramente, observamos que entre os modos de falar mais frequentes não são predominantemente científicas e nem do senso-comum, mas temos um pouco desses dois níveis de conhecimento. Enquanto a maioria das respostas

expressa definições de substância tendo como base a visão microscópica de que essas são formadas por elementos químicos, percebemos que quase a mesma quantidade de respostas deixa explícito que os licenciandos não conseguem diferenciar com clareza os conceitos de substância, elemento químico e mistura. Um dado aparentemente paradoxal, mas não tanto se levarmos em conta que partimos do pressuposto de que um mesmo indivíduo possui vários modos de falar. Podemos justificar este dado levando em conta a falta de consciência desses vários modos de falar e o uso indevido de concepções em contextos inadequados pela preocupação limitada dos cursos de licenciatura com conceitos fundamentais. Além disso, percebemos a repetição de modos de falar do senso-comum em todos ambos os casos (licenciandos e alunos), o que nos leva a concluir o que a literatura já afirma: concepções informais são resistentes à mudança e que as ideias informais dos alunos podem ser reforçadas pela falta de consciência do professor dessa diversidade de concepções. Isso pode fazer com que o professor, em sala de aula, use de forma indiscriminada ideias inadequadas ao contexto escolar.

De acordo com os quadros acima, temos 25 modos de falar identificados. Apresentaremos no quadro 6 a seguir como chegamos nesses modos de falar, a partir da interpretação das respostas dos alunos. Justificaremos cada modo de pensar com um exemplo de resposta dado pelos alunos.

5.1.3 Categorias propostas a partir dos diferentes modos de falar

Percebemos que os modos de falar poderiam ser associados formando categorias com características mais gerais. Diante disso, a partir dos quadros 1, 2 e 3 propomos seis categorias mais amplas: visão microscópica da substância, visão macroscópica da substância, visão generalizada da substância, visão essencialista da substância, visão substancialista da substância e visão relacional da substância:

- **Visão microscópica da substância:** nesta categoria, agrupamos aqueles modos de falar que ao definir, exemplificar ou explicar o conceito de substância exprimem uma visão microscópica (ou submicroscópica) da matéria, usando termos como “átomo”, “elemento” ou “molécula” na resposta, de acordo com a visão química do conceito. As ideias desta categoria podem ter origem do

processo de ensino-aprendizagem, a partir do entendimento cientificamente correto do conceito ou da reprodução do discurso do professor e/ou livro didático. Por exemplo, em uma das respostas encontramos: substância é “um conjunto de átomos semelhantes (ou não) que se agrupam formando moléculas e formando determinada substância”. No quadro abaixo apresentamos os modos de falar classificados nessa visão

Visão microscópica da substância	Apresenta as substâncias como sendo formadas por elementos químicos
	Define substância a partir da diferenciação entre substância, elemento químico e mistura
	Define substância pura a partir da definição formal da química
	Tem consciência de que os elementos aristotélicos não são os mesmos elementos estudados na Química

Quadro 7. Modos de falar com visão microscópica da substância

- **Visão macroscópica da substância:** nesta categoria agrupamos os modos de falar que exprimem um entendimento cientificamente correto com relação ao conceito de substância, porém, no processo de conceitualização há o uso apenas de características macroscópicas, como as propriedades físicas, químicas ou organolépticas. Além disso, as classificações “substância simples”, “substância composta”, “orgânica” ou “inorgânica” surgem como pontos principais na definição, representando uma compreensão apenas formal do conceito. De acordo com essa visão, também existe uma dependência entre saber as propriedades e definir o conceito de substância. Conhecer as propriedades se torna algo essencial para definir o conceito. Além disso, as propriedades não são vistas como um conjunto de características que podem variar com o sistema, mas são invariáveis e determinam a natureza da substância. Assim como na categoria anterior, podem ser ideias que se originam no contexto escolar. Por exemplo, para a definição da “substância pura”, um aluno respondeu: “é aquela

que possui ponto(s) de ebulição e (de) fusão constantes”. No quadro abaixo apresentamos os modos de falar classificados segundo a visão macroscópica.

Visão macroscópica da substância	Define substância a partir das propriedades físicas, químicas ou organolépticas
	Define substância a partir das suas classificações (simples, composta, orgânica, inorgânica)

Quadro 8. Modos de falar com visão macroscópica da substância

- **Visão generalizada da substância:** na visão generalizada, colocamos aqueles modos de falar mais ingênuos e intuitivos. As concepções são reflexos das ideias construídas em experiências do dia-a-dia ou construídas em contextos social e cultural específicos (inclusive, escolar). Nesta categoria o indivíduo não diferencia substância de elemento e misturas, o que demonstra uma dificuldade no entendimento do conceito em nível microscópico e macroscópico. Por exemplo, um dos alunos ao definir “material”, escreve: “Pode ser compreendido como um conjunto de elementos unidos estruturalmente no que diz respeito ao ‘objetivo’ de dar origem a uma mistura ou material”. Problemas em identificar uma substância pura também se enquadram nesta categoria, visto que muitos alunos definiam uma substância pura como substância simples. Além disso, são consideradas na visão generalista, ideias relacionadas com o pensamento filosófico dos “elementos” aristotélicos. Podemos perceber também um modo de pensar que poderiam estar na “visão microscópica da substância”: a concepção em que o aluno afirma que a Natureza é formada por elementos e/ou átomos. Consideramos esta uma visão generalista devido à simplicidade da resposta e o fato de o aluno não deixar claro a que tipo de “elemento” ele se refere. Foi a visão com um maior número de modos de falar, como mostrado no quadro 6 abaixo.

	Define substância como sinônimo de coisa ou objeto
	Relaciona substâncias com tudo que nos

Visão generalizada da substância	rodeia
	Confunde substância pura com a definição de substância simples
	Aceita a visão de que os quatro “elementos” aristotélicos são primordiais
	Apresenta uma visão de que a Natureza é formada por elementos
	Apresenta uma visão de que os elementos aristotélicos são formados por diversos átomos
	Apresenta uma visão de que a Natureza é formada por diversas substâncias
	Relaciona substância com aquilo que é natural ou pode ser sintetizado

Quadro 9. Modos de falar com visão generalizada da substância

- Visão essencialista da substância:** nesta categoria consideramos que os alunos atribuem às propriedades ou à substância em si, um sentido de dependência com relação a algo, a uma aplicação, uso ou importância vital. Desse modo, uma substância é definida predominantemente pelo seu conjunto de características, propriedades e aplicações. Além disso, destacamos a importância que alguns indivíduos dão às substâncias no sentido da utilidade dela em nossas vidas. São ideias que apresentam uma dependência entre as substâncias e a vida humana. Como exemplo, destacamos a seguinte resposta: a importância de saber as propriedades das substâncias está em saber “noções para culinária, para ciências médicas, biológicas, engenharias, publicitárias” ou “para usar em favor do homem”; “os corpos precisam de substância para existir”. Nesta categoria também agrupamos aqueles modos de falar que se assemelham à visão filosófica de substância, principalmente aquela proposta por Aristóteles, em que a substância é a essência de todas as coisas que existem. Desse modo, muitos alunos usam a palavra “substância” no sentido de “essência”. Tivemos 5 modos de falar associados a essa visão, como mostrado no quadro 7.

Visão essencialista da substância	Relaciona as propriedades com os benefícios/malefícios aos seres humanos ou importância dela na vida
	Considera as propriedades como características essenciais para se conhecer a substância
	Define substância a partir da sua capacidade de reagir com outras
	Associa substância à industrialização
	Concorda com a visão de que as substâncias são essenciais à vida
	Usa a ideia de substância no sentido de “essência”

Quadro 10. Modos de falar com visão generalizada da substância

- **Visão substancialista da substância:** classificamos os modos de falar nesta categoria quando o indivíduo atribui *status* de substância às propriedades da mesma. Além dessa ideia, encontramos respostas em que um átomo ou molécula, contém em si, todas as propriedades da substância. E, por fim, também incluímos nessa categoria aquelas concepções nas quais os alunos afirmam que “a substância é a própria substância”. Assim como a categoria anterior, essas ideias podem ter origem no contexto sociocultural ou de abordagens equivocadas sobre o conceito na sala de aula. Por exemplo, um aluno afirma que o ponto de ebulição de uma molécula de água é de 100° C, pois ela “tem as mesmas características físico-químicas” da substância água. No quadro 8 apresentamos os modos de pensar associados a essa visão.

Visão substancialista da substância	Considera como substância processos que ocorrem com os materiais
	Não distingue aspectos macroscópicos de microscópicos na caracterização da substância

	Usa o termo “substância” para expressar algo material
--	---

Quadro 11. Modos de falar com visão substancialista da substância

- **Visão relacional da substância:** nesta categoria colocamos aqueles modos de falar nos quais a substância e suas propriedades são compreendidas como algo relativo, que sempre muda em função do sistema. Encontramos algumas concepções nos questionários, porém essa categoria ficou mais evidente nas entrevistas, como veremos mais adiante. Por exemplo, um aluno afirmou que “a temperatura e pressão pode [sic] alterar a propriedade da substância, ou seja, não é em todos os sistemas que ela [sic] se mantém”. Apenas 1 modo de falar referente a essa visão foi identificado, como mostrado no quadro 9.

Visão relacional da substância	Demonstra visão relacional das propriedades das substâncias, tendo consciência de que elas variam com o meio
---------------------------------------	--

Quadro 12. Modos de pensar com visão relacional da substância

A seguir, apresentaremos a análise feita para as entrevistas, que de uma forma geral ratificaram as categorias já propostas e fizeram emergir de forma mais evidente outros modos de falar e, com isso, contribuiu para consolidar as zonas do perfil conceitual de substância que foram propostas neste trabalho.

5.2 Análise das entrevistas

Neste tópico apresentamos a análise das entrevistas, observando como os modos de falar se relacionam entre si e confirmando a heterogeneidade de concepções acerca do conceito de substância. Para isso, apresentaremos transcrições em ordem cronológica de trechos considerados mais relevantes ao longo de toda a entrevista.

A entrevista foi feita de forma coletiva com cinco alunos. O roteiro da mesma (apêndice 2) foi baseado na proposição de algumas situações, diante das quais os alunos deveriam se posicionar usando o conceito de substância. Após nos reunirmos na sala dos professores, apresentamos cada situação para posterior debate, no qual os alunos

ficavam livres para expor suas ideias. A entrevista foi realizada somente com os alunos do Colégio de Aplicação.

5.2.1 Alunos do 2º ano

Na primeira situação, o entrevistador pergunta aos alunos sobre a natureza de diversas substâncias e elementos mostrados aos alunos na tela do computador. O ponto em questão são os metais dissolvidos na água mineral:

TRECHO 1 – primeira situação – Análise do rótulo de uma água mineral

E: “estas substâncias simples, vocês classificariam como elementos químicos?”

ALUNO B: “sim.. pois são metais.. e acho que a maioria fica (inaudível).. é... ficam como íons...”

E: “então substância simples e elementos vocês colocariam na mesma classificação? Toda substância simples é um elemento...”

ALUNA E: “não!”

E: “Então como seria mais ou menos?”

O entrevistador repete o que os alunos responderam. A ALUNA E pensa um pouco e responde:

ALUNA E: “Substâncias simples podem ser formadas por um único elemento... agora.. elemento químico.. é só o elemento químico..”

ALUNO A: “O₂ é a substância simples e oxigênio é o elemento.”

E: “aqui (apontando para os símbolos dos metais extraídos de um rótulo de informação nutricional da água mineral) temos elementos químicos, então?”

ALUNO D: “acho que não..”

ALUNA E: “eu acho que tem... pois esses metais estão ionizados na água”.

ALUNO B: “por exemplo, o cálcio, ele não seria só um átomo de cálcio. Então poderia ser considerado um elemento”.

...

No trecho 1, percebemos que os alunos discutem sobre os íons dissolvidos na água, a partir da análise de um rótulo de água mineral, situação apresentada na entrevista. O ponto central da discussão é se aqueles íons que estão na água são substâncias ou elementos. Na análise, vimos que os alunos colocam que a espécie química que está em questão é íon, porém este representa um elemento químico (por exemplo, o Ca²⁺ é um íon do elemento cálcio). Vemos aqui a categoria “visão microscópica da substância” quando os alunos tentam entender em nível atômico molecular a natureza das substâncias (sais) dissolvidas na água mineral. Esta categoria também ficou evidente quando os alunos souberam diferenciar diversas substâncias e misturas, como por exemplo, o detergente na segunda situação:

TRECHO 2 – Segunda situação – Classificação de diversos objetos em substância, elemento ou material (mistura)

E: “O detergente é uma substância ou material?”

ALUNO A - “material, porque tem várias substâncias”;

ALUNO D: “é tipo uma mistura”;

ALUNO A: “detergente pode ser a base de qualquer coisa... várias substâncias”.

A categoria “Visão microscópica da substância” também ficou clara quando os alunos analisaram o conceito de substância pura em nível microscópico, chegando à conclusão de que não existe substância 100% pura. O debate em questão era se a água destilada era pura:

TRECHO 3 – Terceira situação – Análise da água destilada: pura ou não?

E: “você concordam que esta água... que está lá (dentro de uma piceta no laboratório), é pura?”

ALUNO D: “a tentativa é que ela seja pura”

ALUNA E: “ela tem quase 100% de pureza”

ALUNO A: “a aproximação é suficiente para qualquer indústria ou pessoa considerar pura... mesmo a destilação...”

ALUNO D: “... sendo imperfeita”.

Entendemos que na discussão acima para entender o conceito de substância pura é necessário uma visão microscópica. Para conceber a ideia de que mesmo uma substância com alto grau de pureza não é realmente pura, se deve saber que outras substâncias (mesmo em pouquíssima quantidade) podem estar presentes no meio. Talvez, analisando a situação dentro de uma visão macroscópica, se poderia considerar que a substância é realmente pura, visto que diante de um alto grau de pureza suas propriedades se manteriam constantes.

Em outro trecho, também identificamos a categoria “visão relacional da substância” nesses alunos. Ao discutirmos sobre as propriedades das substâncias, os alunos demonstraram saber que estas podem variar com o meio. Ideias referentes a este tipo de visão foi consenso entre os alunos entrevistados. Quando perguntados se a temperatura

de ebulição da água era 100°C, o aluno “a” respondeu na mesma hora: “Coloca ela numa panela de pressão pra ver...”. Mais adiante ele justificou, dizendo que as propriedades podem mudar de acordo com a pressão. De forma semelhante, foi consenso entre os alunos que o ácido clorídrico só apresenta acidez em solução aquosa e atribuíram o caráter redutor do zinco apenas se ele estiver reagindo com um metal com poder oxidante maior do aquele apresentado por ele.

A categoria relacional ficou evidente também na discussão da relação entre matéria-energia e a constante mudança da substância devido a esta relação:

TRECHO 4 – Quarta situação – relação entre matéria e energia

- ALUNO B: “(a energia) está em uma forma e você transforma em outra forma.”
 - E: “a energia, você está falando?”
 - ALUNO B: “sim.. a energia. Pode ser a energia potencial que você transforma em energia cinética, depois em energia térmica...”
 - E: “esta energia, vocês acham que é algo intrínseco da matéria? ou seja, é inerente a ela? Está dentro dela?”
 - ALUNO D: “ela recebe...”
 - ALUNA E: “mas ela recebe de quem?”
 - ALUNO A: “recebe de outra matéria... acho que é tudo relação.”
 - ALUNO D: “é tudo... por exemplo: a ideia de energia potencial. Não existe esta energia potencial se não houver dois corpos (...) aí, quando eles se aproximam e se chocam, se transforma. Assim.. não existe essa energia potencial se não houverem dois corpos. Ele sozinho, não ia ter... não sei como explicar... é como se eles tivessem cada um, mas só faz sentido quando tem uma relação com o outro”
 - ALUNO A: “A relação está se dando em todo lugar na terra...”
-

Associada a essa ideia de relação entre matéria e energia, os alunos discutiram acerca de um equilíbrio químico e da análise conformacional do butano. Eles foram capazes de interpretar as diversas conformações em termos de energia potencial, percebendo que as moléculas das substâncias não possuem uma forma definida, mas estão sempre mudando de acordo com a energia. Depois de explicar o gráfico das conformações, o entrevistador perguntou se o gráfico fazia sentido aos alunos:

TRECHO 5 – Quinta situação – Análise conformacional de moléculas de substâncias orgânicas

- ALUNO B: “é um butano?”
- E: “sim.. é um butano”
- Discussão inaudível
- ALUNO B: “muda o tipo de ligação... com a energia... não sei... tem umas ali que são... são duplas... tem hora que dois carbonos estão juntos e depois separados... isso influencia na energia dentro da molécula”
- ALUNO E: “está rotacionando o metil.. mas isso é para o benzeno... uma molécula rotacionada... mas não o butano.”
- ALUNO D: “é a mesma molécula, só.. (inaudível)... peráí.. a conclusão é que estou cego (se aproxima da tela do computador para olhar o gráfico). Ha, menino... esses grupos metis... eles estão mais juntos ou separados. Ai ele pode...”
- ALUNO E entra na discussão, todos falam, e os diálogos ficam incompreensíveis.
- ALUNO E: “quando o metil tá ali, ó.. (inaudível). Olha.. o desenho, ele rotaciona.. aí, quando o metil gira, o hidrogênio também gira. E os dois hidrogênios que tavam com ele na mesma.. tá vendo?”
- ALUNO D: “então somente um pedaço da molécula tá girando”.
- ALUNO E: “é.. só um pedaço que gira”.
- ALUNO D: “a gente tá vendo a molécula de frente...”
- ALUNO E: “exatamente!”
- ALUNO B: “ha.. são dois eixos..”
- ALUNO E: “é como uma roda em cima de outra roda.. e só uma gira. Aí quando ele gira o metil que tava aqui, agora fica aqui (apontando para o gráfico no computador). Aí gira de novo.. ele fica aqui e os dois hidrogênios. E assim vai...”
- ALUNO D: “agora tô [sic] ligado.. entendi...”
- E: “certo.. vocês..”
- ALUNO D: “espera.. rapidinho... são diversas situações, não é isso? Aqui, quando eles estão aqui.. que bate na mesma coisinha, eles vão está [sic] repulsando, entre esse bichinho lá de trás e esse da frente.. aí ele vai rotacionar.. e este daqui também. Isso vai ser uma energia tensionada, sei lá, porque eles vão ficar tentando sair...”
- ALUNO E: “é mesmo!”
- O entrevistador pergunta sobre a forma mais estável.
- ALUNO E: “o de energia menor. Porque os dois grupos metis estão bem distantes. E quando ele muda, há repulsão entre esses e faz com que ele gaste mais energia.”
- ALUNO D: “é.. mais energia com os dois grupos metis assim (aluno faz sinal com as mãos, indicando a posição paralela)”.
- ALUNO E: “é o pico que a repulsão é muito maior.”
- Entrevistador: “tá ok...”
-

Do mesmo modo, chegaram à conclusão de que em um equilíbrio químico (auto-ionização da água, por exemplo) não temos as moléculas da água dispostas no sistema

de forma estática e organizada, mas temos um equilíbrio iônico dinâmico, ou seja, a molécula está constantemente mudando, se dissociando em seus íons.

Outra categoria que identificamos entre os alunos entrevistados foi a “visão essencialista da substância”. Percebemos isso quando alguns alunos admitiram que usam o termo “substância” como algo essencial ou primordial na quinta situação: “As substâncias são substanciais”; “tem que tá lá... a água tem que tá lá (para que a Natureza gere vida)”.

5.2.2 Alunos do 3º ano

Na semana posterior à entrevista com os alunos do 2º ano, realizamos a mesma com os alunos do 3º ano. Também encontramos visões que ratificam as categorias propostas. Na discussão acerca da composição da água mineral, por exemplo, encontramos a categoria “visão microscópica da substância”:

TRECHO 1 – Primeira situação – Análise do rótulo de uma água mineral

ALUNO C: “seriam carbonatos, sulfatos e cloretos, que são sais (com relação aos símbolos dos elementos na etiqueta da água mineral)”.

E: “É um consenso?... por que são substâncias?”

ALUNO C: “são mais de um átomo, igual ou não, que se ligam numa substância. Os outros, no caso, os metais, tá parecendo que é ele por ele próprio. É ele sozinho. É o elemento... não é a substância.”

E: “Quais destes são elementos químicos?”

ALUNO D: “Magnésio, cálcio, bário, manganês, estrôncio, ferro e potássio”.

E: “Por que são todos elementos?”

ALUNO D: “Porque não estão combinados com outros elementos (...)”

No diálogo acima, percebemos que não há um consenso, pois em um momento os alunos afirmam que são substâncias (na forma de sais), porém no final não incluem os metais nesta classificação. Podemos considerar que há indícios também de uma visão generalista ou mesmo da transição entre esta e uma visão mais complexa do que seja a substância. Isto pareceu mais evidente quando os alunos classificavam diversos materiais em “mistura”, elemento” ou “substância” na segunda situação:

TRECHO 2 – Segunda situação – Classificação de diversos objetos em substância, elemento ou material (mistura)

ALUNO C: “é uma substância... (sobre o detergente)”

E: “Por que substância?”

ALUNO C: “porque a base do detergente é o tenso ativo.”

ALUNO D: “É uma mistura...”

E: “Por que é uma mistura?”

ALUNO E: “porque, apesar do que C falou, tem o princípio ativo, quando falamos em detergente, você está generalizando, onde o que não é essencial varia muito... até mesmo o essencial”

E: “Como assim o essencial varia muito?”

ALUNO E: “O que caracteriza... o detergente”

ALUNO D: (apontando para C) o que caracteriza o detergente, que ele falou, o tenso ativo, deve ser o mesmo em quase todos eles. O que deve mudar é a composição do resto, a concentração de água... esses tipos de coisa. Acho que não seja padrão.”

Na continuação do trecho 1 acima, também percebemos alguns traços da categoria “visão essencial da substância”, quando um dos alunos afirma que existe um componente “essencial” no detergente que faz com o mesmo seja caracterizado como tal.

Na situação sobre a água pura, os alunos também apresentaram uma “visão microscópica da substância”, visto que a pureza da água foi analisada em termos microscópicos:

TRECHO 3 – Terceira situação – Análise da água destilada: pura ou não?

E: “você concordam que esta água que está na piceta é pura?”

ALUNO C: “em tese é pura... mas tem que ver em qual laboratório ela foi destilada.. se não foi contaminada por CO₂... se a piceta tava esterilizada... em fim.. tem que acreditar que é, mas depende do laboratório...”

ALUNO D: “Não ter contato com CO₂ é meio difícil.. está na atmosfera...”

ALUNO E: “Tendo como conceito a ideia de pureza na química como aquela substância isolada, praticamente isto estaria incorreto.”

E: “por que?”

ALUNO E: “porque... (inaldível) você não tem como isolar uma substância de todas as outras. Principalmente a água que reage com o ar atmosférico...”

ALUNO D: “mas para trabalho ele não tá tão errado não... é porque você fala de pureza ou não é quando falamos de soluções... por exemplo ácido sulfúrico praticamente puro é porque tem pouca água. Então, ele não tá tão errado assim”

Outro trecho em que percebemos a categoria “visão microscópica da substância” é quando um dos alunos explica o ponto de ebulição da água, na terceira situação: “a água entrando em ebulição é o conjunto das moléculas de água... você nunca vai ver uma molécula de água sozinha.. não pode ver em qual estado ela tá. Porque o estado... ele já tá falando isso.. é o estado de agregação das moléculas. Não dá pra ver o estado de uma molécula em relação a outras, se não tem outras.”

Também ratificamos com a entrevista a categoria “visão relacional da substância”. Quando a discussão era relacionada às propriedades das substâncias, um dos alunos afirmou que o ponto de ebulição “Depende da pressão...” e que o pH da água nem sempre é 7: “a água da chuva, por exemplo, é um pouco ácida, por causa do CO₂”.

Além dessas categorias, a entrevista identificou concepções das categorias: “visão substancialista da substância” e “visão relacional da substância”. A visão substancialista se torna evidente quando um dos alunos interpreta o termo “substancial” em uma frase como algo material, tangível, quando, na verdade, o sentido é metafísico (quinta situação). Já a visão relacional se dá, mais uma vez na interpretação das propriedades. Foi consenso entre os alunos de que as propriedades das substâncias nem sempre são bem definidas (terceira situação).

Na análise das entrevistas acima, junto com os questionários individuais, percebemos que os alunos apresentam visões diversas sobre o conceito de substância, evidenciando a heterogeneidade do pensamento verbal.

5.3 As categorias e as fontes de dados

Não podemos considerar que as categorias apresentadas neste capítulo têm origem somente na análise dos dados empíricos. Antes de realizarmos esta etapa da pesquisa, já tínhamos feito o levantamento bibliográfico (na História da Química e na literatura em Ensino de Ciências). Este levantamento já nos tinha fornecido “pistas” de prováveis categorias que poderiam emergir nos questionários e nas entrevistas. Além disso, como afirma Coutinho (2005, p.28)

Seria ingênuo, no entanto, afirmar que as zonas do perfil advieram de uma análise objetiva dos dados empíricos e que, sem qualquer pré-conceito ou pré-juízo, “descobrimos” as categorias, como se elas estivessem ali, dadas de uma vez por todas, prontas a se mostrarem a uma mente alerta. Elas

correspondem ao resultado de um processo socialmente situado de construção do conhecimento por um pesquisador.

Diante disso, as categorias aqui propostas já estavam sendo pensadas a partir dos outros levantamentos realizados, e foram amadurecidas a partir da pesquisa empírica. Resultados parciais da elaboração dessas categorias foram publicados em anais de eventos (ver SILVA; FIRME; AMARAL, 2009; SILVA; AMARAL, 2010).

Neste capítulo, percebemos a diversidade de modos de falar acerca do conceito de substância. No próximo capítulo, veremos como as concepções provenientes das outras fontes de dados se incorporam nas categorias propostas neste capítulo para, a partir dos compromissos epistemológicos e ontológicos, constituírem as zonas do perfil conceitual de substância.

CAPÍTULO 6

Zonas do perfil conceitual de substância

Neste capítulo apresentamos de forma resumida as concepções sobre substância, levantadas nos capítulos 3 e 4, agrupando-as de acordo com as categorias discutidas no capítulo 5, constituindo dessa forma zonas do perfil conceitual com compromissos epistemológicos e ontológicos distintos. Com isso, as zonas do perfil conceitual de substância propostas são:

- Zona Essencialista;
- Zona Generalista;
- Zona Substancialista;
- Zona Racionalista;
- Zona Relacional.

As duas primeiras zonas correspondem, de forma hierárquica, às concepções não-científicas e representam formas ingênuas e intuitivas de pensar o conceito de substância. Na zona essencialista foram agrupadas concepções com significados metafísicos e filosóficos, nas quais são levadas em conta aplicações e importância das substâncias na nossa vida, sem que haja suporte científico para essas considerações. Já a zona generalista, foi constituída por concepções em que as substâncias são vistas como algo material e palpável, porém sem nenhum esforço de sistematização ou diferenciação entre substâncias, materiais e elementos. A diferença entre essas duas zonas pode ser colocada considerando aspectos ontológicos, visto que a zona generalista é proposta a partir de concepções que representam as substâncias de forma material e real, e a zona essencialista se constitui a partir de ideias abstratas e metafísicas sobre as substâncias, que podem ou não ser representadas materialmente.

A zona substancialista representa uma transição entre as zonas pré-científicas e científicas. As concepções de substância nesta zona se aproximam do conceito químico e estão associadas às suas diversas propriedades, que são materializadas e ganham o

status de uma característica intrínseca dos materiais ou se tornam substâncias independentes. O que difere as concepções desta zona das duas anteriores no que diz respeito ao nível de pensamento é a consciência da existência de diversas substâncias e que estas apresentam propriedades específicas. Nesta zona temos uma ontologia física, sendo as substâncias consideradas corpos materiais.

Nas duas últimas zonas, temos formas científicas de pensar o conceito de substância. Na zona racionalista, foram agrupadas concepções em nível macro e microscópico para conceitualização da substância. Em nível macroscópico, temos a caracterização das diversas substâncias pelas propriedades, consideradas como fatores determinantes na identificação de diferentes substâncias, de forma que são consideradas inalteráveis e únicas para cada uma delas. Além disso, temos as classificações formais criadas na Química, como substância simples, composta, orgânica, inorgânica e etc. Em nível microscópico, temos a consciência de que os materiais são formados por diversas substâncias e estas por elementos químicos. A diferenciação entre esses conceitos é feita de forma consciente. As concepções desta zona diferem ontologicamente das ideias da próxima zona, pois no pensamento racionalista temos uma hierarquia na composição da matéria, tendo que os elementos formam as substâncias e essas as misturas. Deste modo, temos a substância como algo tangível e que pode ser isolado.

Na zona relacional, temos um nível de compreensão mais complexo, no qual as relações que existem entre substâncias entre si, substância e o meio, e substância e energia são determinantes para a conceitualização da mesma. As propriedades são vistas como um jogo relacional e não como parâmetros completamente definidos, como na zona racionalista. Nesta zona, substância e energia são consideradas uma coisa só, e essa relação faz com que não se leve em conta unicamente as substâncias como formas moleculares e geométricas bem definidas, mas sim como algo que está sempre em mudança de forma. O conceito de substância sai de um nível concreto para um pensamento abstrato, visto que a substância como concebemos não é algo que existe no mundo real. De forma ontológica, temos que as concepções dessa zona são abstratas, pois a substância não é considerada como algo que existe no mundo real.

Relações entre as categorias propostas e as zonas do perfil conceitual estão representadas no quadro 12 abaixo:

Categorias (propostas no capítulo 5)	Zonas do perfil conceitual
Visão essencialista da substância	Zona essencialista
Visão generalizada da substância	Zona generalista
Visão substancialista da substância	Zona substancialista
Visão microscópica da substância	Zona racionalista
Visão macroscópica da substância	
Visão relacional da substância	Zona relacional

Quadro 13. Relação entre as categorias e as zonas do perfil conceitual de substância

A seguir, apresentamos uma caracterização das zonas do perfil conceitual a partir da discussão de concepções encontradas na História da Química, na literatura em ensino de ciências (capítulos 3 e 4) e na sala de aula, e dos compromissos epistemológicos/ontológicos implicados em cada uma dessas zonas.

6.1 Aspectos epistemológicos para a caracterização das zonas

6.1.1 Zona essencialista

Para fundamentar esta zona, usamos algumas das ideias propostas por Lakoff (1987), como a base da sua discussão sobre metafísica objetiva essencialista.

O surgimento do essencialismo, segundo Coutinho (2005), vem a partir da importância dada às propriedades na conceitualização de certos conceitos, como o de vida, por exemplo (COUTINHO, 2005). Segundo o autor, a ideia essencialista vem associada à dependência de certas propriedades para a conceitualização, o que na categorização de Lakoff (1987) sobre a visão padrão das definições, ele denomina de modelo clássico. Este modelo clássico se inclui em uma metafísica objetiva e a concepção subjacente a este modelo de categorização é o essencialismo.

Coutinho (2005) apresenta uma relação de dependência entre propriedades e essencialismo na citação abaixo, na qual mostra uma discussão de Mayr acerca da problemática do conceito de vida:

Corretamente, Mayr considera que vida não é uma entidade do mundo. No entanto, também não é um hipostaseamento de processos, como ele pensa, porque quando buscamos definir vida, não estamos lidando com uma coisa, mas com um conceito, um conceito teórico. Ao procurar as propriedades definidoras de processos vitais, Mayr e outros confundem a definição de um conceito teórico com o inventário de propriedades essenciais pelas quais uma coisa pertence ou não a uma categoria, no caso, das coisas vivas. Chamamos essa atitude de essencialismo. (p. 39).

Assim, na proposição do perfil conceitual de vida, Coutinho (2005) categoriza concepções essencialistas como aquelas em que certas propriedades essenciais são necessárias e suficientes para que algo possa ser considerado vivo. De forma semelhante, consideramos como ideias essencialistas para o conceito de substância, aquelas concepções em que são determinadas propriedades essenciais relacionadas à substância para explicar a existência dos objetos e manutenção da vida. Nesta zona, as propriedades e as substâncias são a essência e o motivo principal da existência ou funcionamento das coisas, como as ideias de Aristóteles acerca da substância. Isso parece evidente em concepções encontradas na História da Química. Além disso, essas ideias são abstratas, o que caracteriza a categoria ontológica de abstração proposta por Chi (1992)

Nessa perspectiva, identificamos ideias essencialistas acerca da substância nos escritos de Aristóteles. O filósofo grego se refere tanto à substância material (física) como imaterial (metafísica) como a base de todas as coisas da natureza. Diante disso, a alma seria a substância do ser humano e a terra uma das substâncias primordiais que compõe o mundo físico (ARISTÓTELES, 2006). Segundo ele, todas as coisas são predicadas da substância, porém ela não é predicada de nenhuma outra coisa. Aqui, percebemos uma relação de dependência da substância para que todas as outras coisas existam. Além disso, a substância guarda a essência dos objetos que ela compõe. Essa essência é uma entidade primária, que se conserva, mesmo após todas as mudanças e transformações.

Também consideramos como essencialistas ideias que apresentam a matéria como a causa primeira de todas as coisas. Como apresentamos no capítulo 3, antes de Aristóteles, diversos filósofos tentavam explicar a origem do mundo, tomando por base a ideia de “substância primordial” ou “elemento primordial”, a partir do qual todas as coisas foram formadas (PARTINGTON, 1989; LEICESTER, 1967). Mesmo esses

materiais não representando de forma literal uma substância (poderia ser qualquer material), eram assim considerados. Com isso, temos as ideias de Empédocles sobre o “ar”, de Anaximandro sobre o “aiperon” e de Tales de Mileto sobre a “água” (PARTINGTON, 1989), consideradas essencialistas em nossa classificação.

Na Idade Média também encontramos ideias essencialistas, principalmente no período da Alquimia. Naquela época, era dada importância às substâncias metálicas pelos alquimistas, por exemplo, atribuindo às mesmas a capacidade de gerar e manter a vida (LEICESTER, 1967; PARTINGTON, 1989). Segundo os autores, os alquimistas buscavam, a partir da essência dos materiais, gerar substâncias que poderiam alongar a vida do ser humano, como o elixir da longa vida. Além disso, havia também a ideia de Paracelsus sobre os três princípios (*tria prima*) - sal, enxofre e mercúrio – que representavam o corpo, a alma e o espírito, o que também consideramos como uma ideia essencialista, pois a despeito da existência física dos materiais, as propriedades atribuídas aos mesmos eram metafísicas, o que trazia subjacente um sentido abstrato para a substância.

No período da Alquimia também encontramos concepções essencialistas. Aquelas ideias em que as propriedades das substâncias são vistas como algo intrínseco da mesma, vivendo em seu interior dando qualidade a ela, podem ser consideradas como essencialista. Nesse sentido, Oliveira (1995) afirma que no passado pensava-se que o mentol, a mentona e o acetato de mentila “sabem” a menta (BACHELARD, 1938/1996). As substâncias citadas não possuem as propriedades da menta, mas a própria menta exhibe a qualidade dessas substâncias. Ideias deste tipo faziam com que os alquimistas tentassem “abrir” as substâncias para descobrir as qualidades interiores delas (OLIVEIRA, 1995).

Nos dias atuais, encontramos na literatura alguns autores que identificaram concepções que também classificamos como essencialistas. No trabalho de Araújo, Silva e Tunes (1994), por exemplo, os autores verificaram que os alunos investigados expressavam concepções de que a substância está presente e é a essência de cada uma das coisas que existe. Isso foi frequente entre os alunos e parece representar um compromisso filosófico essencialista. Além desse tipo de pensamento, os autores verificaram que alguns alunos associavam as substâncias com os impactos diretos que elas causam em

nossas vidas e na Natureza, como por exemplo a poluição dos rios. Concepções semelhantes foram encontradas por Salloum e BouJaoude (2007), em que os alunos pensam que substâncias são produtos artificiais venenosos ou perigosos.

Johnson (2000) e Stavridou e Solomonidou (1998) também encontraram ideias essencialistas entre os alunos investigados. Os autores perceberam que alguns alunos não usam as propriedades para identificar as substâncias, porém imaginam que é algo inseparável delas, fazendo parte da essência da substância.

Em seu levantamento, Silveira (2003) apresenta algumas concepções que encontramos nos diversos tipos de dicionários. Em alguns deles, o autor identificou ideias que faziam referência à substância como “essência do mundo”, “a parte essencial de alguma coisa” ou “parte imutável da matéria”. Araújo, Silva e Tunes (1994) também encontraram concepções em que as substâncias são consideradas como a base de todas as coisas.

6.1.2 Zona generalista

Nesta zona, consideramos aquelas concepções em que o indivíduo generaliza o conceito, admitindo que qualquer tipo de material é uma substância. Não há uma reflexão sobre as diversidades de substâncias que podem compor um mesmo material. As substâncias são vistas de forma ingênua e sob o ponto de vista unicamente macroscópico. Com essas características, podemos considerar que as concepções que fazem parte desta zona possuem um forte compromisso realista (BACHELARD, 1940/1984). Desde a Idade Antiga até a atualidade podemos encontrar concepções que possuem um forte compromisso realista, sendo classificadas na zona generalista. As ideias generalistas se assemelham com as da zona essencialista, visto que não há uma classificação formal sobre substância como temos hoje. Porém, o que difere uma zona da outra é o aspecto ontológico. Enquanto na zona essencialista, temos ideias abstratas (mesmo quando se trata de uma substância material, como no caso da *tria prima* de Paracelsus ou os quatro elementos de Empédocles) na zona generalista as ideias se referem à uma substância, de fato, material. Diante disso, as ideias nessa zona consideram a substância como algo real, o que faz com que tenhamos aqui a categoria ontológica de matéria (CHI, 1992).

De acordo com o que apresentamos no capítulo 3, verificamos que povos egípcios e babilônicos tratavam qualquer objeto como elemento ou substância (segundo os critérios que temos hoje). Segundo Leicester (1967), apenas no século XVI é que alguns estudiosos começaram a diferenciar as diversas substâncias existentes em um único material. As classificações de substâncias que encontramos na antiguidade em geral expressavam valores religiosos e místicos, como a associação dos diferentes metais com os planetas e as classificações de metais em “corpos” e “espíritos”, proposta por Zósimos (300 d.C) (PARTINGTON, 1989). Outro exemplo de concepções da antiguidade que fazem parte desta categoria é a definição do *electrum*. Este era considerado um metal (substância) distinto dos outros, quando, na verdade, era uma mistura de dois metais: prata e ouro (LEICESTER, 1967). De maneira geral, podemos dizer que naquela época não existiam definições formais para o conceito de substância. A partir das diversas classificações que encontramos, percebemos que não existia um limite entre os conceitos de “substância”, “elemento” e “matéria”, algo próximo ao que ainda encontramos no contexto atual da Química.

Na Grécia Antiga, podemos encontrar a ideia dos “quatro elementos”, proposta por Empédocles e difundida por Aristóteles. O elemento aqui tratado é o elemento filosófico, que segundo Aristóteles, é aquilo que compõe todas as coisas e não pode ser decomposto. É uma definição semelhante à de elemento químico, porém, nas ideias filosóficas temos substâncias e materiais sendo classificados como “elemento”. Na História da Química, as ideias generalistas duraram até os séculos XVII – XVIII, quando os trabalhos de Boyle, Stahl, Black, Cavendish, Lavoisier, entre outros, mostraram que a matéria, na verdade, é formada por diversas substâncias, formadas por corpos mais simples: os elementos. A água, por exemplo, que se imaginava ser um corpo simples, após os estudos de Dalton foi considerada como um composto, formado pelos elementos hidrogênio e oxigênio. E, dessa forma, foi se consolidando na Química a diferença entre os conceitos de substância, elemento e material, a partir de definições formais, baseadas em um pensamento lógico e empírico.

Na literatura, encontramos diversas concepções que classificamos como generalistas. Vogezang (1987), por exemplo, foi um dos autores que identificou entre os alunos

uma visão de que “coisa” e “substância” possuíam o mesmo significado. Além disso, o autor observou que alguns alunos não conseguiam conceituar “substância pura”.

Araújo, Silva e Tunes (1994) também identificaram esse tipo de concepção. Nos sistemas conceituais levantados entre os alunos, os autores afirmam que alguns deles usam a palavra “substância” como sinônimo de “coisa”, “material” ou “elemento”. Silva, Barbosa e Amaral (2000) também perceberam que os alunos usavam o termo “substância” como sinônimo de coisa, material e elemento.

Em seus estudos, Papageorgio e Sakka (2000) encontraram concepções generalistas do conceito de substância. Semelhante a Vogelezang (1987), os autores identificaram dificuldades entre os sujeitos para definir substância pura, muitas vezes confundindo este conceito com o de substância simples ou elemento. Além disso, os autores observaram que alguns professores consideravam o ar atmosférico como um composto e outros professores confundiam substância com “elemento” ou “átomo”.

Johnson (2000) também identificou a dificuldade de alguns alunos em conceituar substância pura. O autor percebeu que alguns alunos entendem que “pureza” está relacionada com a Natureza. Tudo que é encontrado em sua forma natural é puro. Diante disso, os alunos não conseguiam diferenciar “puro” de “não-puro”. Além disso, em outro trabalho (JOHNSON, 2005), o autor apontou um problema em que alunos não conseguem fazer uma distinção clara entre elementos e compostos. Segundo o autor, a falta de distinção entre elementos e compostos é uma característica dos pontos de vista dos alunos.

Em Silveira (2003), encontramos outros trabalhos que apresentam concepções generalistas acerca do conceito de substância. Araújo et al (1992 apud SILVEIRA, 2003) afirmam que a palavra substância é conhecida pelos alunos antes de aprendê-la formalmente, como sinônimo de coisa, material, elemento ou mesmo como adjetivo substancial. O mesmo tipo de concepção é identificado por Solomonidou e Stavridovou, (2000), Barbosa (2000), Salloum e BouJaoude (2007), Soares e Aguiar (2008) e Håland (2008).

6.1.3 Zona substancialista

Na zona substancialista temos concepções em que há a consciência da composição da matéria por substâncias. Porém, nesta visão, átomos, moléculas e elementos contêm as propriedades das substâncias as quais constituem. Assim, por exemplo, os átomos de carbono possuem as qualidades da substância carbono.

Para a constituição desta zona, consideramos a discussão de Bachelard com relação ao substancialismo, nas suas diferentes representações. De acordo com a discussão de Oliveira (1995) e Bachelard (1938/1996), em um dos tipos de substancialismo, a substância mantém em todas as suas propriedades e na definição predicativa da substância - isso quer dizer que a substância não apresenta propriedades, mas ela é a própria propriedade dos materiais.

Outro tipo de concepção que classificamos como substancialista já foi apresentada por Amaral e Mortimer (2001) e está fundamentada na discussão de Bachelard (1940/1984), na qual considera concepções em que um indivíduo substancializa algo que é imaterial. Abaixo, apresentamos as fontes de pesquisa em que concepções relacionadas a esta zona emergiram.

Podemos encontrar concepções substancialistas sobre a substância em épocas algumas épocas históricas, quando algumas ganharam força, sendo defendidas por muitos químicos, mas que depois foram desacreditadas. Por exemplo, a ideia do flogisto, proposta por Stahl, em 1703. Como já apresentamos anteriormente, Partington (1989) afirma que o flogisto às vezes era considerado como um material; às vezes como matéria de fogo; ou substância terrosa (fuligem); princípio gorduroso (no enxofre, óleo, sebo e resinas). A ideia do flogisto foi abandonada, principalmente depois dos trabalhos de Lavoisier. Porém, a concepção substancialista continuou presente na ideia do calórico, desta vez, defendida por Lavoisier (PARTINGTON, 1989).

Na literatura, encontramos em três trabalhos ideias substancialistas acerca do conceito de substância. Johnson (2000), por exemplo, percebeu que alguns alunos substancializavam algumas propriedades organolépticas das substâncias, como cor, cheiro e doçura. Assim, numa transformação química, as propriedades são transferidas de uma para outra substância.

Lovevude (2002), ao investigar a relação que alguns alunos fazem entre matéria e energia, percebeu que alguns alunos materializavam a energia, imaginando que ela é uma substância material. Deste modo, a transferência de energia era acompanhada pelo ganho de massa nos materiais. Håland (2008) também encontrou ideias substancialistas, quando licenciandos consideravam que a cera da vela, quando queimada, era convertida em calor.

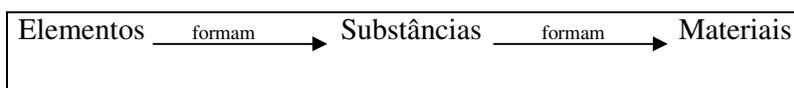
6.1.4 Zona racionalista

Para esta zona, consideramos concepções que se enquadram em um nível de pensamento que Bachelard denomina de racionalista. Neste nível de entendimento, estão todas as ideias que circulam no contexto da química atual acerca do conceito de substância, seja em nível macroscópico ou microscópico.

As concepções inseridas nesta zona representam um nível mais elevado de reflexão do que aquelas das zonas anteriores. Nesta zona, as ideias racionalistas são carregadas de empirismo (técnica) acompanhado de reflexão, lógica e raciocínio.

Consideramos como racionalistas aquelas concepções em que o indivíduo sabe conceituar substância pura (tendo consciência dos limites dessa ideia e do seu modelo implícito), diferenciar substância elementar (elementos), composto (substância) e material (misturas), representar ou definir as substâncias em nível microscópico e explicá-las a partir de suas propriedades físicas e químicas.

Na História da Química, encontramos concepções racionalistas nos primeiros estudos acerca dos elementos e substâncias químicas, a partir de Boyle no século XVII. Naquele momento, parece ser percebida a formação de um limite entre os conceitos de substância, elemento e mistura dentro do contexto da Química. Isso faz com que tenhamos uma hierarquia na forma de pensar o conceito, partindo do mais abstrato, (elemento) para o mais concreto (misturas), visto que elementos e substâncias não existem no mundo real, apenas as misturas. Diante disso, obtemos a seguinte sequência:



Os trabalhos de Boyle, Cavendish, Lavoisier, Cannizzaro entre outros, contribuíram para o fortalecimento do conceito de substância química e a identificação de diversas substâncias que compõem os materiais. Por exemplo, o ar atmosférico, que até o século XVII era considerado uma substância única, foi classificado como uma mistura composta por diversos gases, como mostramos no capítulo 3.

Naquela época, vários critérios foram estabelecidos para diferenciação entre elementos e substâncias e entre as próprias substâncias, resultando no surgimento das mais diversas classificações, desde substâncias compostas e simples à substâncias orgânicas e inorgânicas. Porém, o critério mais importante para diferenciação das substâncias era as propriedades. Nesse sentido, as substâncias eram identificadas a partir das propriedades que apresentavam em determinadas condições de temperatura e pressão. Na zona racionalista, as propriedades são vistas como o ponto mais importante na identificação e diferenciação das substâncias, e estas propriedades são vistas como inalteráveis. Quando essas propriedades são vistas de forma relacional, ou seja, não são o único critério para identificação das substâncias, pois variam com o meio (sejam as condições do ambiente sejam as interações com outras substâncias), as concepções são incluídas em outra zona do perfil, a qual veremos posteriormente.

Na literatura, dentre os artigos revisados, encontramos o trabalho de Vogelezang (1987), por exemplo, que identificou concepções em nível macroscópico em sua pesquisa com alunos na Alemanha. O autor percebeu que alguns alunos classificaram um material como substância quando ele apresentava “propriedades bem definidas”. Resultado semelhante ao encontrado por Papageorgio e Sakka (2000), quando alguns professores classificaram uma substância como aquilo que é encontrado na natureza com propriedades bem definidas. Os autores também identificaram concepções que expressavam boa diferenciação entre elemento, substância e mistura. Silveira (2003), em um dicionário de química, encontrou definições de substância que tomavam por base classificações da química (orgânica, inorgânica, simples, compostas e etc). Resultado semelhante foi encontrado por Araújo, Silva e Tunes (1994), Salloun e BouJaoude (2007) e Håland (2008).

Visto que o ensino de Química é voltado para a construção de conceitos científicos na sala de aula, esperávamos encontrar mais concepções realistas na literatura. Porém o

resultado do levantamento só ratifica a dificuldade em o aluno construir ideias racionalistas acerca de um conceito visto que na sala de aula ele é formado em meio a outras ideias presentes nos alunos.

6.1.5 Zona relacional

Nesta zona, consideramos concepções sobre substância que tomam por base um jogo dialético das ideias presentes na zona racionalista, que são levadas a um nível mais complexo de compreensão do conceito. Para constituir esta zona, tomamos por base a categoria epistemológica que Bachelard chama de “ultra-racionalismo”. Ou seja, as concepções que fazem parte desta zona possuem uma natureza problematizadora à das outras, o que faz com que elas sejam consideradas absurdas para as demais zonas (BACHELARD, 1940/1984). Para um químico do século XVIII, por exemplo, a concepção de que uma substância com propriedades ácidas, em determinadas condições, pode se comportar como uma base, seria considerada totalmente errada. Segundo Bachelard (1940/1984), é neste momento que entra a filosofia dialética do “por que não?”, que é característica do novo espírito científico. Como exemplo, podemos citar o advento da mecânica quântica para explicar a natureza microscópica da matéria. Segundo Oliveira (1995), para o uso da mecânica quântica foi necessária uma mudança de paradigma que nos levou a situações que podem parecer absurdas e antagônicas se vistas do ponto de vista que estamos habituados a usar.

Na zona relacional, as relações entre matéria e energia são usadas para explicar uma série de fenômenos, como as reações químicas e a síntese de substâncias. Além disso, a substância química não é considerada como algo estático que não interage com o meio ou outras substâncias. Nesta perspectiva, a substância ganha o status de *devir* (BACHELARD, 1940/1984).

A substância não se encerra em suas propriedades, visto que elas podem variar de acordo com o meio em que a substância estiver e suas interações. A substância está sempre mudando. A água, por exemplo, deixa de ser a molécula estática que vemos sempre representada e passa a ser vista como um sistema em equilíbrio, em que nem todas as moléculas estão na forma “H₂O” (figura 7).

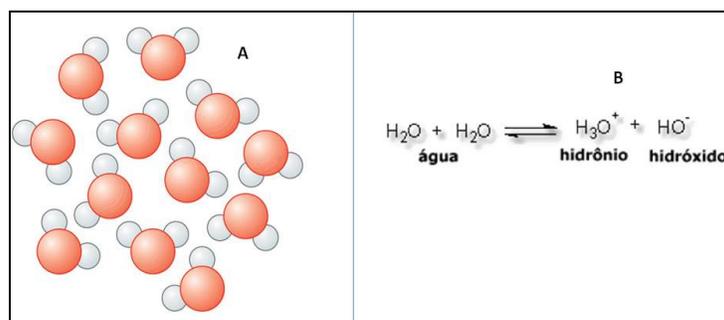


Figura 7. (A) moléculas de água representadas dentro de um sistema (<http://fmcblog.files.wordpress.com/2009/05/agua.jpg>). (B) auto-ionização da água (http://1.bp.blogspot.com/_hvGST7HW1Tw/R1vL_SbW3YI/AAAAAAAAADQ/m0UIVjq4tCc/s320/aci-do_6.gif). Duas visões distintas da substância água, zona racionalista e relacional respectivamente.

Outro exemplo são as diversas conformações que uma molécula de uma substância orgânica pode apresentar. Na análise conformacional, percebemos que a molécula se altera de acordo com a variação de energia (figura 8).

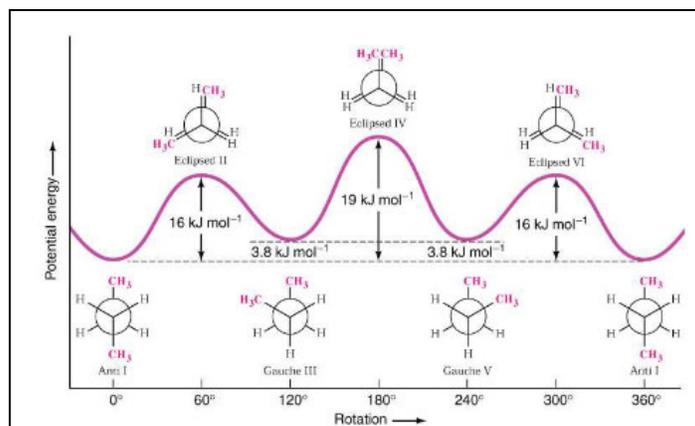


Figura 8. Variações de energia que surgem das rotações em torno da ligação C2 – C3 do butano (<http://www.scribd.com/doc/2974434/Quimica-Conformacao-Alcanos>). As variações energéticas determinam as conformações das moléculas da substância.

Pensando deste modo, deixamos de lado a visão em que seja possível identificar e isolar uma substância individual, com 100% de pureza, a qual contém propriedades bem definidas, já que isso realmente não é possível. No pensamento dialético, vemos a substância como algo que sempre está interagindo com o meio, o que torna impossível isolá-la, pois ela não existe isoladamente. Além disso, vemos que as propriedades não

são absolutas: como um ácido pode apresentar acidez se não estiver dissolvido em água?; só se pode conceber a valência de um elemento se ele estiver interagindo com outro; o ponto de ebulição da água não é o mesmo em todo lugar do globo terrestre; e tantos outros exemplos. Neste sentido, percebemos que as propriedades são relacionais e estão sempre variando. A ideia não é nova. Na literatura vemos que Mortimer (1997), ao discutir as categorias para um perfil conceitual de molécula, mostra que certas propriedades químicas, como acidez e basicidade, comportamento redox, efeitos de solventes em reações etc., dependem da interação entre moléculas e não unicamente da estrutura de uma espécie isolada. O autor as denomina propriedades químicas relacionais.

Vendo a substância por essa óptica, admitindo que ela está sempre sofrendo transformações (o *devenir* de Bachelard) vemos que suas propriedades também dependem do meio, ou seja, elas não são bem definidas, mas sim, relacionais, como já discutimos no final do capítulo 3 desta dissertação.

Na História da Ciência, as concepções dialéticas acerca do conceito de substância surgem entre os séculos XIX e XX. A visão microscópica, presente na zona anterior, permite entender a substância em toda sua essência. Diante disso, outros estudos começam a surgir, como, por exemplo, a radioatividade. O conhecimento acerca da estrutura do núcleo atômico nos mostra que uma substância pode se converter em outra, por meio da radiação natural ou artificial. Outro avanço que os estudos sobre radioatividade possibilitaram foi a associação da energia com a matéria. Como sabemos, quando dois núcleos se fundem há uma enorme liberação de energia. Assim, Becquerel forneceu as primeiras pistas para origem da imensa energia do Sol (BRODY; BRODY, 2006). Anos mais tarde, Einstein sintetizou a relação matéria-energia de forma matemática, em sua famosa equação “ $E = mc^2$ ”. Diante disso, percebemos que a substância não é somente um corpo com massa e que ocupa lugar no espaço, mas há uma energia associada a este corpo.

Essa energia, que é intrínseca à matéria, não tem origem somente no núcleo. Podemos pensar essa energia em termos de energia interna (U), que é o somatório das energias cinética e potencial, provenientes de movimentos rotacionais, translacionais e vibracionais de uma molécula. Atkins e De Paula (2006, p. 28) apontam para a

influência dessa energia nas substâncias: “muitas propriedades físicas e químicas dependem da energia associada com cada um desses movimentos”. Como essa relação substância-energia é tão estreita, Bachelard (1940/1984) afirma que substância e energia são a mesma coisa.

A energia associada à substância faz com que abandonemos, ao menos nesse contexto, a ideia de substância estática, imutável e com propriedades bem definidas. Como explicamos no capítulo 3, as moléculas estão em movimento no espaço. Alguns desses movimentos são relacionados com a energia potencial de cada molécula, o que faz com que ela tenha diversas conformações, como coloca Solomons e Fryhle (2005), explicando este fenômeno através do conceito de hiperconjugação, surgido em pleno século XXI (POPHRISTIC; GOODMAN, 2001).

Mas não é somente a forma da substância que muda. Como afirmamos antes, pelas palavras de Atkins e De Paula (2006), as suas propriedades também mudam de acordo com a energia, e isso faz com que tenhamos uma visão relacional a cerca delas. É a relação da substância com o meio e com outras substâncias vai determinar as propriedades. E se essas propriedades mudam, não podem mais ser consideradas “bem definidas” (a não ser dentro de determinados limites, com o controle do sistema).

Já imaginávamos que dificilmente encontraríamos este tipo de concepção no levantamento feito sobre concepções de estudantes na literatura e na pesquisa empírica. No capítulo anterior, mostramos que a visão relacional que os alunos possuem com relação às propriedades das substâncias são apenas relacionadas às condições de temperatura e pressão, sem considerar as relações com outras substâncias do meio. Podemos também perceber pequenos traços da consciência da relação “substância – energia” na entrevista com alguns alunos. Na literatura, apenas um trabalho, o qual tinha por objetivo estudar as concepções de alunos sobre a relação matéria – energia, identificou esse tipo de concepção: Loverude (2002) percebeu que alguns alunos relacionavam de forma coerente matéria-energia usando a relação de Einstein ($E = m.c^2$).

Este tipo de concepção não está presente nos programas de ensino de Química, o que dificulta a construção dessas ideias por parte dos alunos. Porém, ideias relacionais

podem ser formadas a partir da reflexão de certos conceitos como o de radioatividade, por exemplo. Porém a dificuldade de compreensão deste tipo de concepção e, talvez, a falta de reflexão sobre essas ideias no ensino superior faz com essas ideias não sejam difundidas ou ao nível de abstração que elas exigem para conceber o conceito de substância.

6.2 Perfis individuais de alunos

De forma a ilustrar a noção do perfil conceitual, em que um único indivíduo pensa um conceito de várias formas (zonas do perfil), procuramos traçar, a partir do questionário, o perfil individual de alguns sujeitos participantes desta pesquisa para mostrar a heterogeneidade de pensamento deste conceito. As zonas aqui propostas refletem um perfil coletivo, pois as zonas foram construídas a partir de ideias expressas por um coletivo, juntamente com os dados bibliográficos. Porém o perfil é individual e cada sujeito pode apresentar, ou não, todas as zonas do perfil. Além disso, as pessoas podem usar concepções de algumas zonas com maior frequência que outras. Serão ilustradas respostas de alunos, em diferentes situações e níveis de ensino, que podem ser representativas de diferentes zonas do perfil conceitual. Aqui não realizamos nenhum procedimento no sentido de quantificação das zonas para cada aluno, dessa forma, o perfil se mostra apenas na diversidade das zonas, mas não com relação à sua predominância para o indivíduo.

- Perfil de um aluno do 2º ano da Rede Pública de Ensino

ZONA	QUESTÃO	RESPOSTAS
Zona generalista	1ª	“Substância é uma junção de elementos, formado principalmente de solvente e soluto”
Zona essencialista	6ª, 9ª	“Substância pura é aquela que não reage com outras substâncias”. (6ª questão) “É importante sabermos as

		propriedades para que certas substâncias nocivas aos seres humanos sejam controladas” (9ª questão)
Zona substancialista	4ª	Concordou com as afirmações: “O ponto de ebulição de uma molécula de água é 100°C” e “Uma molécula individual possui as mesmas características da substância inteira da qual ela faz parte” (4ª questão)
Zona racionalista	2ª, 3ª, 7ª, 8ª	<p>Aluno soube diferenciar elementos, substâncias e misturas listando-os. (2ª questão)</p> <p>“Não. Esta explicação é baseada no conceito de que tudo é formado pela junção dos quatro elementos (água, fogo, terra e ar). Hoje em dia sabemos que existem mais de 100 elementos, na qual suas composições são totalmente diferentes”. (3ª questão)</p> <p>Aluno marcou opção correta acerca da composição dos materiais, mostrando uma hierarquia à nível microscópico (7ª questão)</p> <p>Algumas substâncias não mudam seu comportamento se mudarmos temperatura e pressão. (8ª questão)</p>

Quadro 14. Perfil individual de um aluno da rede estadual

- Perfil de um aluno do 2º ano do Colégio de Aplicação UFPE

ZONA	QUESTÃO	RESPOSTAS
Zona racionalista	1ª, 2ª, 4ª, 7ª	<p>“Uma substância química é formada por moléculas iguais.” (1ª questão)</p> <p>Aluno soube diferenciar elementos, substâncias e misturas listando-os (2ª questão)</p> <p>Dentre as afirmações apresentadas acerca das propriedades, não considerou nenhuma como uma substância (4ª questão)</p> <p>Aluno marcou opção correta acerca da composição dos materiais, mostrando uma hierarquia à nível microscópico (7ª questão)</p>
Zona generalista	3ª, 6ª	<p>“Não. É tudo feito de átomos” (3ª questão)</p> <p>“Substância pura é formada por átomos do mesmo tipo. Ex: O₂” (6ª questão)</p>
Zona essencialista	5ª, 9ª	<p>“Substância pode significar existência” (5ª questão)</p> <p>“Nós podemos utilizar as substâncias para fins produtivos,</p>

		como produzir medicamentos.” (9ª questão)
Zona relacional	8ª	“várias características variam com a temperatura e pressão. (8ª questão)

Quadro 15. Perfil individual de um aluno do 2º ano do Colégio de Aplicação

- Perfil de um aluno do 3º ano do Colégio de Aplicação UFPE

ZONA	QUESTÃO	RESPOSTAS
Zona racionalista	1ª, 2ª, 7ª	<p>“A união de dois ou mais elementos” (1ª questão)</p> <p>Aluno soube diferenciar elementos, substâncias e misturas listando-os (2ª questão)</p> <p>Aluno marcou opção correta acerca da composição dos materiais, mostrando uma hierarquia à nível microscópico (7ª questão)</p>
Zona generalista	6ª	“Substância pura é formada por um único elemento, como o ozônio, por exemplo” (6ª questão)
Zona essencialista	5ª, 9ª	<p>“Todos os corpos têm substância, do contrário, não existiriam” (5ª questão)</p> <p>“Utilizamos as substâncias da</p>

		melhor forma e com maior aproveitamento.” (9ª questão)
Zona relacional	8ª	“De acordo com a equação geral dos gases ($PV=nRT$), as características podem variar de acordo com as condições do ambiente” (8ª questão)
Substancialista	4ª	Concordou com as afirmações: “O ponto de ebulição de uma molécula de água é 100°C” e “Uma molécula individual possui as mesmas características da substância inteira da qual ela faz parte”

Quadro 16. Perfil individual de um aluno do 3º ano do Colégio de Aplicação

O aluno acima não respondeu à 3ª questão.

- Perfil de um Licenciando

ZONA	QUESTÃO	RESPOSTAS
Zona racionalista	9ª	“É importante sabermos as propriedades das substâncias para entendermos e compreendermos melhor as estruturas.” (questão 9ª)
Zona generalista	1ª, 6ª	“Uma substância química: vários compostos químicos formam uma substância” (1ª questão) “Substância pura é formada por átomos iguais” (6ª questão)

Zona essencialista	2 ^a , 7 ^a , 9 ^a	<p>Aluno soube diferenciar elementos, substâncias e misturas listando-os (2^a questão)</p> <p>Aluno marcou opção correta acerca da composição dos materiais, mostrando uma hierarquia à nível microscópico (7^a questão)</p> <p>“É importante sabermos as propriedades das substâncias para entendermos e compreendermos melhor as estruturas.” (9^a questão)</p>
Zona relacional	8 ^a	“Existem características que dependem da temperatura e pressão” (8 ^a questão)
Zona substancialista	4 ^a	“O ponto de ebulição de uma molécula de água é 100°C” e “Uma molécula individual possui as mesmas características da substância inteira da qual ela faz parte” (4 ^a questão)

Quadro 17. Perfil individual de um aluno licenciando em Química

O aluno acima não respondeu as questões 3 e 5.

Os perfis individuais apresentados acima corroboram para a ideia de heterogeneidade de pensamento presente em um único indivíduo. No primeiro aluno, percebemos a presença de quatro zonas do perfil conceitual, sendo ausente apenas a zona relacional. Dentre as zonas que este aluno apresentou, a racionalista foi a com maior frequência, aparecendo em quatro questões (foi o aluno da escola da Rede Estadual que mais apresentou respostas racionalistas no questionário). No aluno do 2º ano do Colégio de

Aplicação, observamos a presença de todas as zonas. A mais freqüente foi a zona racionalista, em que ele usa visões micro e macroscópicas, com bases científicas, para conceitualizar a substância. Encontramos um resultado semelhante no perfil do aluno do 3º ano da mesma escola. Já no licenciando analisado, percebemos que todas as zonas emergiram, sendo a essencialista com maior freqüência entre as questões do questionário.

No próximo capítulo, apresentamos as considerações gerais acerca do perfil conceitual de substância, suas possíveis implicações na literatura em Ensino de Ciências e nas pesquisas a cerca de perfis conceituais além das considerações finais desta dissertação, bem como os desdobramentos que este trabalho poderá ter.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação, a discussão dos dados coletados nos diversos contextos e a análise das concepções levantadas resultaram na proposição de um perfil conceitual para o conceito de substância. A análise de concepções encontradas no desenvolvimento histórico do conceito e concepções informais apontadas na literatura em Ensino de Ciências orientou a investigação das formas de pensar que poderiam emergir na pesquisa em sala de aula. Com a triangulação dos dados, a partir das respostas aos questionários e entrevistas, propusemos as categorias apresentadas no capítulo 5. As categorias que emergiram no contexto da sala de aula imprimiram um sentido pragmático às zonas propostas para o perfil. Concepções que emergiram em outros contextos foram incorporadas a algumas categorias, considerando compromissos epistemológicos/ontológicos que representavam, e assim também constituíram zonas do perfil conceitual.

Cada zona do perfil conceitual de substância aqui proposto representa modos de pensar que são específicos de determinados contextos. Temos modos de pensar mais ingênuos, como aqueles encontrados na zona essencialista ou generalista, que são comumente usados no dia-a-dia e podemos considerar que fazem parte do senso comum. Modos de pensar mais sofisticados, como aqueles que constituem a zona racionalista, em geral estão presentes no contexto acadêmico e/ou escolar, em situações de ensino-aprendizagem de Química.

Com as zonas propostas, podemos verificar que concepções semelhantes sobre substância parecem emergir em diferentes momentos históricos, perpassando diferentes contextos socioculturais, sofrendo adequações no nível de predominância das mesmas para os indivíduos. Nesse sentido, a proposta de um perfil conceitual de substância pode contribuir não só para que o aluno tenha consciência da diversidade de concepções que podem estar implicadas em um único conceito, mas para que os professores possam introduzir discussões dessa natureza na sala de aula. Com isso, mesmo usando concepções generalistas em seu dia-a-dia, o aluno poderá ter consciência de que há diferentes visões e formas de explicação para os fenômenos no contexto escolar ou científico.

Com a análise dos dados, além da construção das zonas, pudemos tecer algumas outras considerações sobre o modo de pensar do conceito de substância nos diferentes contextos.

Nas respostas aos questionários, observamos que os sujeitos da pesquisa usam modos de pensar adequados ao contexto do senso comum no contexto científico, o que faz com que percebamos a influência das ideias informais na sala de aula. Não podemos afirmar que isso ocorre pelo desconhecimento do conceito científico, uma vez que em outras respostas, o mesmo indivíduo apresentava concepções científicas, com compromissos epistemológicos e ontológicos diferentes. Com isso, ratificamos o pressuposto da coexistência de um perfil de concepções em um mesmo indivíduo e podemos dizer que a falta de consciência sobre os contextos em que cada ideia pode ser usada parece ter produzido inconsistências nas respostas de alguns indivíduos ao questionário como um todo.

Analisando os diferentes contextos de ensino investigados - estudantes do Ensino Médio de duas escolas distintas e estudantes do Ensino Superior - percebemos que alguns modos de pensar foram comuns em todos os níveis de ensino, porém com diferenças na frequência em que eram expressados. Por exemplo, concepções incluídas nas zonas essencialista, generalista e substancialista emergiram em todos os níveis de ensino, o que ratifica o fato de que ideias informais são resistentes à mudança. Além disso, podemos supor que a persistência de tais concepções implica na necessária discussão das mesmas em sala de aula, como etapa do processo de significação do conceito científico. Concepções das zonas racionalistas emergem com maior frequência nos licenciandos e do Colégio de Aplicação - UFPE, sinalizando um diferencial na atenção dada ao processo de ensino-aprendizagem nesses contextos. Já nos alunos da escola da Rede Estadual de Ensino, percebemos concepções com uma forte influência das zonas essencialista e generalista. Desse modo, a predominância de certas concepções pode variar com o nível de ensino e/ou o contexto de ensino-aprendizagem.

Finalmente, as zonas propostas para o perfil conceitual representam a heterogeneidade do pensamento sobre o conceito de substância. Cada zona do perfil está associada a um contexto, e os alunos, tendo consciência desse perfil de concepções, poderão adquirir a consciência de que cada modo de pensar pode ter sentido em um contexto apropriado. É

nesse sentido que ressaltamos a importância e relevância deste trabalho de pesquisa, concordando com vários autores na literatura que consideram o ensino de conceitos científicos não como a substituição de ideias velhas por novas, mas pela incorporação de novos modos de pensar à um perfil de concepções já existente.

Esperamos que esta dissertação contribua para o trabalho de professores e pesquisadores, não só no âmbito da pesquisa em Ensino das Ciências, mais especificamente na formação de conceitos científicos, mas como uma forma de orientar o planejamento do ensino do conceito de substância, contribuindo para uma melhoria da aprendizagem em Química.

7.1 Trabalhos futuros

Com o perfil conceitual proposto, pretendemos aprimorá-lo, de forma a delimitar melhor cada zona e caracterizá-la com os compromissos epistemológicos e ontológicos adequados. Além disso, observar a emersão das zonas em contextos diversos, relacionando com outros trabalhos que problematizam o discurso e a linguagem na sala de aula.

REFERÊNCIAS

ABELL, S. K.; SMITH, D. C. What is science? Preservice elementary teachers' conceptions of the nature of science. **International Journal of Science Education**, 16, 475-487, 1994. In: PAPAGEORGIOU, G.; SAKKA, D. Primary school teachers' views on fundamental chemical concepts. **Chemistry education: research and practice in Europe**. V. 1, N. 2, pp. 237-247. 2000.

AMARAL, E. M. R. **Discussão sobre categorias ontológicas e epistemológicas para compreensão de diferentes formas de pensar conceitos científicos**. Texto não publicado. 2004.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas Metodologias**, In: Flávia Maria Teixeira dos Santos e Ileana Greca. Ijuí: Ed. Unijuí, p.239-296, 2006.

_____. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo horizonte. v. 1 n. 3 p. 1-16. 2001.

_____. Un perfil conceptual para entropia y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de química. **Educación química**, n.3: 60 – 75. 2004

ANDERSSON, B. Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. **Science Education**, v.70 n.5: 549-563. 1986.

ANDRÉ, M. Pesquisa em educação: buscando rigor e qualidade. **Cadernos de Pesquisa**. n.113 São Paulo. 2001

ARAÚJO, D. X; SILVA, R.R; TUNES E. O conceito de substância química apreendido por alunos do ensino médio. **Química Nova**, v.01, n18. 80-90. 1994.

ARAÚJO, D. X. **O conceito de substância em química aprendido por alunos do ensino médio**, 1992. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. In: SILVEIRA, M. P. **Uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª a 8ª séries do ensino fundamental**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

ARISTÓTELES. **Metafísica**. São Paulo: Edipro Editora, 363p. 2006.

ARONS, A.B., **Development of Concepts of Physics**, Reading, MA: Addison-Wesley (1965). In: LOVERUDE, M. Do students conceptualize energy as a material substance? **Physics Education Research Conference 2002**. Part of the PER Conference series Biose, Idaho. 2002

ATKINS, P.; DE PAULA, J. **Atkins Físico – Química**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC. 589 p. 2006.

BACHELARD, G. **Le materialisme rationnel**. Paris, P.U.F. 232p. 1953/1972.

_____. **A formação do Espírito Científico**. Rio de Janeiro Contraponto editora. 314p.1996.

_____. **A Filosofia do Não**. In: **Os pensadores**. São Paulo: Abril Cultural, p. 01-87. 1984.

BARBOSA, R.M.M et al. **Substâncias e Misturas: como os alunos compreendem no Ensino Fundamental**. Anais da 23ª Reunião Anual da SBQ, ED-008, 2000. In: SILVEIRA, M. P. **Uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª a 8ª. séries do ensino fundamental**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

BRITO, A., A., S. “Flogisto”, “calórico” & “éster”. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, Vol. 20, n.º 3/4, 2008.

BRODY, D., E.; BRODY, A. R. **As sete maiores descobertas científicas da História**. 7ª Ed. São Paulo: Cia. Das Letras, 436p. 2006.

CACHAPUZ, A. GIL-PEREZ, D. CARVALHO, A. M. P., PRAIA, J. e VILCHES, A. (orgs.) **A necessária renovação do Ensino de Ciências**. São Paulo: Cortez, 263p. 2005.

CANNIZZARO, S. **Sunto di un corso di filosofia chimica**. Disponível em: <http://www.liberliber.it/biblioteca/licenze/>. Data de acesso: 08/07/2010.

CARVALHO, A. M. P.. Critérios Estruturantes para o Ensino das Ciências. In:_____. (org.) **Ensino de ciências – Unindo a Pesquisa e a Prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning. p. 1 – 17. 2004.

CHI, M.T.H. **Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science**.1992 In: R. Giere (Ed.). *Cognitive models of Science: Minnesota Studies in the philosophy of Science*. Minnesota: University of Minnesota Press. In: MORTIMER, E.F. *Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? Investigações em Ensino de Ciências*. v. 1, p.20-39, 1996.

CHI, M. T. H.; SLOTTA, J. D.; LEEUW, N. D. From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. **Learning and Instruction**, 4, 27-43. 1994.

CONFREY, J. **A review of research on student conceptions in mathematics, science, and programming**. Review of Research in Education, 16, 3–56. 1990. In: SALLOUM,

S. L.; BOUJAOUDE, S. '**Careful! It is H₂O? Teachers' Conceptions of Chemicals**', International Journal of Science Education, 30: 1, 33 — 64, 2007.

COUTINHO, F. **Construção de um perfil conceitual de vida**. Tese de Doutorado – Faculdade Educação da UFMG. 209 p. 2005.

COSTA, V. B. **How teacher and students study “all that matters” in high school chemistry**. Journal of Science Education, 19, 1005-1025. 1997. In: PAPAGEORGIOU, G.; SAKKA, D. **Primary school teachers' views on fundamental chemical concepts**. Chemistry education: research and practice in Europe. V. 1, N. 2, pp. 237-247. 2000.

DEWEY, J. **Lógica: teoría de la investigación**. México: Fundo de Cultura, 1950. In: TIBALLI, E. F. A. . O conceito pragmatista de experiência em John Dewey.. In: **XXVI Reunião anual da ANPED**, 2003, Poços de Caldas. Anais da XXVI Reunião anual da ANPED - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação. Poços de Caldas : ANPED. v. 26. p. 1-15, 2003.

_____. **Nouvelles conceptions de l'idéal et du reel**. In: Reconstruction en philosophie. Euvres philosophiques. Paris: Farrago. 2003.

DRIVER, R. **Beyond appearances: The conservation of matter under physical and chemical transformations**. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), Children's ideas in science (pp. 145–169). Philadelphia: The Open University Press. 1985. In: SALLOUM, S. L.; BOUJAOUDE, S. '**Careful! It is H₂O? Teachers' Conceptions of Chemicals**', International Journal of Science Education, 30: 1, 33 — 64, 2007.

DRIVER, R; SQUIRES, A.;WOOD-ROBINSON, V. **Making sense of secondary science**. London: Routledge. 1994. In: SALLOUM, S. L.; BOUJAOUDE, S. '**Careful! It is H₂O? Teachers' Conceptions of Chemicals**', International Journal of Science Education, 30: 1, 33 — 64, 2007.

EL-HANI, C. N.; MORTIMER, E. F. Multicultural education, pragmatism, and the goals of science teaching. **Cultural Studies of Science Education**, 2, 657-702, 2007. In: MORTIMER, E. F; SCOTT, P; EL-HANI, C. N. **Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais**. In Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

ERICKSON, G. **Heat and Temperature – part A: Na overview of pupil's ideas**. In: Children's Ideas in Science. Philadelphia. 1985

GARBER, D. **Philosofers of Substance**. Studies in History and Philosophy of Science. V.27. n.03. p 421 – 427, 1996.

GEOFFROY. **Nouveau traité de Physique sur toute la nature**. 2v, Paris, 1742. In: BACHELARD, G. **A formação do Espírito Científico**. Rio de Janeiro Contraponto editora. 314p.1996.

GESS-NEWSOME, J.; LEDERMAN, N. G. (1995). **Biology teachers' perceptions of subject matter structure and its relationship to classroom practice**. Journal of

Research in Science Teaching, 32, 301-325. In: PAPAGEORGIU, G.; SAKKA, D. **Primary school teachers' views on fundamental chemical concepts**. Chemistry education: research and practice in Europe. V. 1, N. 2, pp. 237-247. 2000.

GOLDFARB, A. M. **Da Alquimia à Química**. São Paulo: Landy, 248p. 2001.

HÅLAND, B. Teacher-training students' conception of matter and substances, - some results from 31 interviews. **The Proceedings of the 9th Nordic Research Symposium on Science Education**. http://mennta.hi.is/malthing_radstefnur/symposium9/synopsis/nfsun9_submission_14.doc. 2008. Acessado em 24/05/2010.

GORRI, A., P.; FILHO, U., S. Representação de Temas Científicos em Pintura do Século XVIII: Um Estudo Interdisciplinar entre Química, História e Arte. **Química Nova na Escola**. V. 31. N. 3, pp. 184-189. 2009.

HAWKING, S. **O Universo numa casca de noz**. São Paulo: ARX, 215p. 2001.

HEWSON, P. W..THORLEY N.R. **The Conditions of conceptual change in the classroom**. International Journal Science Education, n.7, p.541- 553, 1981. In: MORTIMER, E.F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Ed. UFMG, Belo Horizonte, 2000.

JAMES, W. **Pragmatism's Conception of thuth**. The journal of phylosophy and scientific methods. Vol. 4. N.6, 141 – 155. 1907.

_____. **Pragmatismo – Textos Selecionados**. SP: Abril Cultural, 1974. Col Os Pensadores, vol 40. 1974.

JOHNSON, P. **Children's understanding of substances, part 1: recognizing chemical change**. International Journal of Science Education, 22: 7, 719 — 737. 2000.

_____. **Children's understanding of substances, Part 2: explaining chemical change**. International Journal of Science Education, 24: 10, 1037 — 1054. 2002

_____. **The Development of Children's Concept of a Substance: A Longitudinal Study of Interaction Between Curriculum and Learning**. Research in Science Education. 35. 41–61. 2005.

_____. **Progression in children's understanding of a "basic" particle theory: A longitudinal study**. International Journal of Science Education, 20, 393-412. 1998In: PAPAGEORGIU, G.; SAKKA, D. **Primary school teachers' views on fundamental chemical concepts**. Chemistry education: research and practice in Europe. V. 1, N. 2, pp. 237-247. 2000.

LAKOFF, G. **Women, Fire, and Dangerous Things**. Chicago: The University of Chicago Press, 632p. 1987.

LAVOISIER, A. L., **Traité Élémentaire De Chimie**, 1789. Disponível em: <http://dominiopublico.qprocura.com.br/dp/10200/traite-elementaire-de-chimie.html>.

Data de acesso: 15/08/2009.

LEICESTER, H. M. **Panorama Historico de la Quimica**, Madrid, Alhambra, 313p. 1967.

LINDER, C.J. **A challenge to Conceptual Change**. Science Education, 77(3): 293-300. 1993. In: MORTIMER, E.F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 1, p.20-39, 1996.

LOBO, S.F. O ensino de química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 89-100, 2007.

LOVERUDE, M. Do students conceptualize energy as a material substance? **Physics Education Research Conference 2002**. Part of the PER Conference series Biose, Idaho. 2002 .

MARTINS, I. Dados como diálogo – Construindo dados a partir de registros de observação de interações discursivas em salas de aula de ciências. 2006. In: F.M.T. dos Santos & I.M.R. Greca (Eds.), **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias** (pp. 297-321). Ijuí, RS: Editora Unijuí. In: MORTIMER, E. F; SCOTT, P; EL-HANI, C. N. Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. **In Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Florianópolis: ABRAPEC, 2009.**

MAYR, E. **The growth of biological thought**. Cambridge: Harvard University Press, 1982.

MENGAZZO, L. **A crítica de Berkeley à noção de substância de Locke**. 2003

MORTIMER, E. F. **Conceptual Change or Conceptual Profile Change?** Science & Education. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. p. 268-283. 1995.

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

_____. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 382p. 2000.

MORTIMER, E; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aulas de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações No Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p.283-306, 2002.

MORTIMER, E. F; SCOTT, P; EL-HANI, C. N. **Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais**. **In Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

MOTTA, P. R. **O Pragmatismo de William James e a religiosidade.** Disponível em: <http://www.euniverso.com.br/Psyche/Psicologia/geral/pragmatismoereligiao.htm> Data de acesso: 10/10/2009

NIEDDERER, H.; GOLDBERG, F.; DUIT, R. Towards Learning Process Studies: A review of the Workshop on Research in Physics Learning. In R. DUIT, F. GOLDBERG; H. NIEDDERER (org.) **Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies.** Kiel: IPN, p. 10-28. 1991.

NOTT, M.; WELLINGTON, J. **Probing teachers' views of the nature of Science:** How should we do it and where should we be looking? 1996. In: PAPAGEORGIU, G.; SAKKA, D. Primary school teachers' views on fundamental chemical concepts. **Chemistry education: research and practice in Europe.** V. 1, N. 2, pp. 237-247. 2000.

NÚÑEZ, I. B.; RAMALHO, B. L. (Org.). **Fundamentos do Ensino-Aprendizagem no Novo Ensino Médio:** das Ciências Naturais e Matemática. Porto Alegre: Sulina, 2004.
OKI, M.C.M. O conceito de elemento da Antiguidade à Modernidade. **Química Nova na Escola.** V. 06, n.16, p.25 – 25. 2002.

OLIVEIRA, R. J., O Mito da Substância. **Química Nova na Escola** São Paulo v. 1 n 1, . p. 8 – 11. 1995.

PAOLLONI, L. Química e Mecânica Quântica: relação entre a estrutura lógica da química e a realidade molecular. **Química Nova.** São Paulo. n.04 v.03. 164-171. 1980.

PAPAGEORGIU, G.; SAKKA, D. Primary school teachers' views on fundamental chemical concepts. **Chemistry education: research and practice in Europe.** V. 1, N. 2, pp. 237-247. 2000.

PARTINGTON, J. R.; **A Short History of Chemistry,** 3rd ed., New York: Dover Publications, 415p.1989.

POPHRISTIC, V.; L. GOODMAN. Hyperconjugation not steric repulsion leads to the staggered structure of ethane. **Nature.** 2001. In: ATKINS, P.; DE PAULA, J. **Atkins Físico – Química.** 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC. 589 p. 2006.

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

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **Aprender y enseñar ciencia.** – Madrid: Ediciones Morata, 1998.

PUTNAM, H. **Pragmatism:** An Open Question. Oxford: Blackwell, 106p. 1995.

RIBEIRO, H. **Construindo um perfil conceitual a partir de algumas teorias de ácido-base**. Monografia de Pós-graduação em química. Universidade Federal de Lavras. 2002.

ROSA, M. I. F. P. S. , SCHNETZLER, R. P. Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**, São Paulo. n. 8. p.31-34. 1998.

SALLOUM, S. L.; BOUJAOUDE, S. '**Careful! It is H₂O? Teachers' Conceptions of Chemicals**', International Journal of Science Education, 30: 1, 33 — 64, 2007.

SCHUTZ, A. **The phenomenology of the social world**. New York: Northwestern University Press, 1967 In: MORTIMER, E.F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Ed. UFMG, Belo Horizonte, 2000.

SCRIBNER, S. **Studying working intelligence**. In: ROGOFF, B. & LAVE, J. (Eds.). Everyday cognition. Cambridge: Harvard University Press. 1984. In: COUTINHO, F. **Construção de um perfil conceitual de vida**. Tese de Doutorado – Faculdade Educação da UFMG. 209 p. 2005.

STAVY, R. (1991). **Children's Idea About Matter**. School science and mathematics, 91(6), 240. In: HÅLAND, B. Teacher-training students' conception of matter and substances, - some results from 31 interviews. **The Proceedings of the 9th Nordic Research Symposium on Science Education** .http://mennta.hi.is/malthing_radstefnur/symposium9/synopsis/nfsun9_submission_14.doc. 2008. Acessado em 24/05/2010.

SEPULVEDA, C; MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. Construção de um perfil para o conceito de adaptação evolutiva. **Anais do VI ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Florianópolis – SC (-). 2007.

SILVA, D. **Estudo das trajetórias cognitivas de alunos no ensino da diferenciação dos conceitos de calor e temperatura**. Tese de doutorado (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação – USP, São Paulo. 1995.

SILVA, R.M.G. A possível contribuição da aprendizagem escolar sobre o conceitos de química no desenvolvimento intelectual das crianças nas séries iniciais. **Caderno de Resumo de Anais do IX Encontro Nacional de Ensino de Química**. São Cristóvão: Sergipe. p. 158 – 167, 1998. In: SILVA, M. F. G.; BARBOSA, R. M. N; AMARAL, E. M. R. **Substâncias e misturas: como os alunos compreendem no ensino fundamental**. Anais da 19ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Águas de Lindóia: SBQ. 2000.

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

SILVA, J.R.R.T; AMARAL, E.M.R. **Proposta de abordagem para o ensino de reações químicas a partir da noção de perfil conceitual.** In: ALBUQUERQUE, U.P.; VERAS, A.S.C.; FREIRE, F.J.; LIRA JÚNIOR, M.A. (Org.). Caminhos da Ciência. 1 ed. Recife: EDUFRPE, vol.1, p.259-273, 2006.

_____. Identificando diferentes formas de pensar sobre substância associadas a diferentes contextos. **Anais do VII ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências.** Florianópolis, ABRAPEC, 2009.

_____. Uma análise sobre concepções de alunos e professores de química relativas ao conceito de substância. **Anais do XV ENEQ – Encontro Nacional de Ensino de Química.** Brasília. SBQ. 2010.

SILVA, M. F. G.; BARBOSA, R. M. N; AMARAL, E. M. R. Substâncias e misturas: como os alunos compreendem no ensino fundamental. **Anais da 19ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química.** Águas de Lindóia: SBQ. 2000.

SILVEIRA, M. P. **Uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª a 8ª. séries do ensino fundamental.** Dissertação de mestrado. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

SLOTTA, M.T.H; CHI; E. JORAM, “Assessing students’ misclassifications of physics concepts: An ontological basis for conceptual change,” *Cogn. Instr.* 13, 373-400, 1995. In: LOVERUDE, M. **Do students conceptualize energy as a material substance?** Physics Education Research Conference 2002. Part of the PER Conference series Biose, Idaho. 2002 .

SOARES, N; AGUIAR, O. **O uso dos conceitos de elemento e substância por estudantes do Ensino Fundamental: uma perspectiva de análise sociocultural** Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. V. 8 n. 2, 2008.

SOARES A. G; MATOS S. A.; COUTINHO, F. Â.; MORTIMER E. F. **Estudos preliminares sobre o perfil conceitual de espécie.** Anais do VI ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Florianópolis: ABRAPEC. 2007.

SOLOMONIDOU, C. ; STAVRITOU, H. **From Inert Object to Chemical Substance: Students’ Initial Conceptions and Conceptual Developmente during na Introductory Experimental Chemistry Sequence,** Science , Science Education, 84, p. 382-400, 2000. In: SILVEIRA, M. P. **Uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª a 8ª. séries do ensino fundamental.** Dissertação de mestrado. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

SOLOMONS, T., W.,G.; FRYHLE, C.,B. **Química Orgânica.** Vol. 1, 8ª Ed. São Paulo: LTC, 766p. 2005.

SOLSONA, N. Exploring the development of students’ conceptual profiles of chemical change. **International Journal of Science Education,** v. 25 n. 1 p. 3-12. 2002.

STAVRIDOU, H.; SOLOMONIDOU, C. **Physical phenomena - chemical phenomena: do pupils make the distinction?** International Journal of Science Education, 11 (1), 83-92. 1998. In: JOHNSON, P. **Children's understanding of substances, part 1: recognizing chemical change.** International Journal of Science Education, 22: 7, 719 — 737. 2000.

TIBALLI, E. F. A. . O conceito pragmatista de experiência em John Dewey.. In: **XXVI Reunião anual da ANPED**, 2003, Poços de Caldas. Anais da XXVI Reunião anual da ANPED - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação. Poços de Caldas : ANPED. v. 26. p. 1-15, 2003.

VEER, R. V. D.; VALSINER, J. **Vigotski: Uma Síntese.** São Paulo: Loyola. 1999.

VIGGIANO, E.; MATTOS, C. R. **É possível definir contextos de uso de zonas de perfil conceitual com um questionário?** In: Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Bauru: ABRAPEC, 2007.

VIGOTSKI, L.; LURIA, A. R. Etyudy po istorii povedeniya: Obez'yana, primitive, rebenok. **Moscow and Leningrad: Gosudarstvennoe Izdatel'stvo.** 1930. In: WERTSCH, J.V. **Vigotski and the social formation of mind.** Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1985.

_____. **Pensamento e Linguagem.** São Paulo: Martins Fontes, 1988.

VOGELEZANG, M. J. **Development of the concept 'chemical substance' - some thoughts and arguments.** International Journal of Science Education, 9: 5, 519 — 528. 1987.

WERTSCH, J.V. **Vigotski and the social formation of mind.** Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 262p. 1985

APÊNDICE A



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS
QUESTIONÁRIO

Este questionário não será utilizado para avaliação dos estudantes ou atribuição de notas. É um instrumento de coleta de dados para uma dissertação de mestrado, que orientará nossos estudos acerca do conceito de substância. As respostas dadas a seguir serão analisadas segundo alguns olhares teóricos que suportam a pesquisa e poderão ser divulgadas em textos científicos.

Não é necessária a identificação do estudante. Obrigado.

1º) Para você, o que é uma substância química?

2º) Cite ao menos 5 exemplos de elementos químicos, substâncias e materiais. Justifique sua classificação.

ELEMENTO QUÍMICO	SUBSTÂNCIA	MATERIAL / MISTURA
1.	1.	1.
2.	2.	2.
3.	3.	3.
4.	4.	4.
5.	5.	5.
JUSTIFICATIVAS		
Elemento Químico	Substância	Material / Mistura

--	--	--

3º) Para Aristóteles e outros filósofos, a água, terra, ar e fogo eram substâncias ou elementos primordiais a partir dos quais toda Natureza foi formada, considerando determinadas combinações. Você concorda com essa visão filosófica? Ela é semelhante à visão química de substância que temos hoje? Justifique.

4º) Avalie se as afirmações abaixo estão corretas, justificando cada resposta.

- O ouro é amarelo, logo, átomos de ouro são amarelos.

- O calor é uma substância, que se encontra dentro dos corpos.

- Quanto maior o calor, maior a sensação quente.

- Uma maçã contém várias substâncias.

- Uma molécula individual possui as mesmas características da substância inteira da qual ela faz parte.

- O ponto de ebulição de uma molécula de água seria 100°C.

5º) Como você compreende o sentido da palavra “substância” nesta frase, extraída do documentário da BBC “A História de Deus” : "Segundo a teoria científica, a partícula de Hibbs tem que estar lá em algum lugar na alma subatômica do átomo. Sem ela, o átomo não teria **substância**, o Universo não teria **substância** e sequer existiria". Você pode citar outros exemplos do emprego da palavra “substância” com o mesmo sentido?

6º) O que você entende por substância pura? Dê um exemplo.

7º) Qual a afirmação abaixo está correta? Justifique.

- Átomos semelhantes se juntam e formam os elementos (substâncias elementares). Esses elementos, por sua vez, podem se combinar para formar um composto (substâncias compostas). Estes compostos são, portanto, formados por substâncias elementares. Várias substâncias compostas juntas, formam um material.

- Vários materiais juntos formam uma substância. Esta pode ser decomposta em seus elementos de origem (ou substâncias elementares). Várias moléculas iguais juntas, de mesma propriedade, formam o que conhecemos por “elemento químico”.

8º) Existem características que são próprias das substâncias químicas. Podemos considerar que uma substância apresenta essas características ou propriedades em qualquer condição de temperatura e pressão? Em qualquer sistema, ela sempre vai apresentar sempre as mesmas propriedades? Justifique.

9º) Qual a importância de sabermos as propriedades das substâncias.

APÊNDICE B

Roteiro da entrevista semi-estruturada baseada em situações a ser aplicada aos alunos após a aplicação dos questionários

1ª Situação

Segundo o site oficial da Água Mineral Santa Joana, a água comercializada por esta empresa possui a seguinte composição química e características físico-químicas na fonte de Aldeia (mostrar dados aos alunos):

- Das espécies químicas listadas quais são:
 - Substâncias (compostos)?
 - Elementos (substâncias elementares)?
 - Íons?
- Citar para os alunos os itens abaixo e pedir para classificá-los em substâncias, elementos ou materiais.
 - Detergente;
 - Leite;
 - Água;
 - Água mineral;
 - Água destilada;
 - Oxigênio
 - Carbono;

2ª Situação

Um professor pede para que você vá ao laboratório e pegue uma piceta com água, a qual foi anteriormente bi-destilada e desionificada. Um monitor o vê com a piceta em mãos e diz para que você tenha cuidado, pois aquela água é pura e não se pode desperdiçar.

- a) Você concorda que esta água é pura?

- b) O que é uma substância pura?
- c) Quais substâncias puras encontramos na Natureza ou em nosso dia-a-dia?

3ª Situação

Observe as seguintes afirmações abaixo acerca das propriedades de algumas substâncias (mostrar para os alunos lista de propriedades de diversas substâncias – algumas supostas propriedades também):

- a) Você concorda com as afirmações acima? Justifique.

4ª Situação

A equação mais famosa da física, $E = m.c^2$, mostra que a matéria pode ser convertida em energia. Percebemos assim, que matéria e energia se relacionam, formando uma coisa só (BACHELARD, 1984). Segundo Hawking (2007), a energia dentro da matéria, a qual pode ser liberada por reações de fusão ou fissão nuclear, é calculada a partir da diferença entre a soma das massas individuais de cada próton com a massa total do núcleo.

Nas reações químicas, uma das coisas mais importantes que ocorrem são as trocas energéticas entre as substâncias envolvidas. Algumas transformações só ocorrem com o fornecimento de uma determinada quantidade de energia. Outras liberam energia para o ambiente.

A partir desses exemplos, podemos ver a dependência entre a matéria e energia. Diante disso:

- a) Podemos imaginar algum processo químico ou físico que não envolva trocas de energia?
- b) Considere os seguintes equilíbrios (mostrar equilíbrio do N_2O_2 e auto-ionização da água) – **pedir para os alunos interpretarem os equilíbrios:**
- c) Abaixo estão representadas as conformações de uma molécula de butano e as variações de energia para cada forma em que as moléculas se apresentam. Você consegue explicar, em termos energéticos, essas conformações? Ainda pensando na energia, qual dessas conformações é a mais estável, portanto a que predomina

em um sistema? Diante das representações abaixo, podemos dizer que o butano sempre mantém a mesma forma, a qual, geralmente, usamos para representá-lo? (mostrar figuras de análise conformacional) – **Perguntar se os gráficos e relações fazem sentido para o entrevistado.**

5ª Situação

Existem várias coisas em nossa vida que são essenciais. Entre elas, podemos citar: o sol, a água, os alimentos, o ar, entre outros. Além disso, percebemos que algumas propriedades são essenciais para as substâncias. Diante disso, analise, interprete e se posicione a cerca das afirmações abaixo (**perguntar se os termos ‘substancial’ e ‘essencial’ fazem sentido para eles e se usam no dia-a-dia**):

- A água é uma substância química porque apresenta propriedades bem definidas;
- “O Fundo Monetário Internacional (FMI) elogiou as autoridades gregas e classificou como "*substancial*" o plano do governo da Grécia...”.
http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL1514047-9356,00-PLANO+FISCAL+DA+GRECIA+E+SUBSTANCIAL+DIZ+FMI.html
- “A água é a *essência da vida*. A origem da vida em nosso planeta surgiu na água.”
<http://ecoviagem.uol.com.br/fique-por-dentro/artigos/meio-ambiente/a-agua-e-a-essencia-da-vida-6352.asp>
- Assim como os primeiros filósofos diziam, na Terra temos quatro elementos primordiais: água, fogo, terra e ar. Tudo ao nosso redor é formado por esses quatro elementos.