VITOR MANUEL MARQUES RIBEIRO

MUDANÇA CONCEPTUAL RELATIVA A REAÇÕES DE OXIDAÇÃO-REDUÇÃO: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO

Orientadora: Profª. Doutora Edite Maria Penha Franco Fiuza

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Engenharia

Lisboa

2013

VITOR MANUEL MARQUES RIBEIRO

MUDANÇA CONCEPTUAL RELATIVA A REAÇÕES DE OXIDAÇÃO-REDUÇÃO: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO

Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Ensino de Física e de Química no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário.

Orientadora: Profª. Doutora Edite Maria Penha Franco Fiuza

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Engenharia

Lisboa

2013

Quando o espírito se apresenta à cultura científica, nunca é jovem. Aliás, é bem velho, porque tem a idade dos seus preconceitos. Aceder à ciência é rejuvenescer espiritualmente, é aceitar uma mutação brusca que contradiz um passado.

Gaston Bachelard, 1938

Agradecimentos

Desejo expressar os meus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições sem as quais não teria sido possível realizar esta dissertação:

À minha orientadora, Professora Doutora Edite Fiuza, por todo o estímulo que me deu ao longo do tempo que durou esta pesquisa, assim como pelas suas sugestões, correções, compreensão e disponibilidade sempre demonstradas na orientação deste trabalho.

À Professora Doutora Elvira Callapez, em cujas aulas cresceu o meu interesse pela problemática da mudança conceptual e concepções alternativas.

Ao Professor Doutor Joseph Conboy pelas suas sugestões relativamente ao tratamento estatístico.

Às Professoras Manuela Silva e Graça Tavares, aos alunos do Curso Profissional de Análise Laboratorial do ano letivo 2011/2012 que participaram neste estudo e à direção da Escola por ter consentido na sua implementação.

Ao Senhor Luís Ribeiro, técnico da biblioteca Victor de Sá da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologia, pelo apoio nos pedidos de empréstimos inter-bibliotecas.

À minha colega de Mestrado Solange Palavras, por me ter introduzido no comércio eletrónico internacional e acesso a e-books, que se revelaram de grande utilidade.

Aos técnicos da biblioteca do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa pelo apoio prestado no acesso a muitos artigos não disponíveis on line.

À Universidade Aberta pelo acesso à B-On e JSTOR

A todos muito obrigado

Resumo

A discrepância entre o que os professores ensinam e aquilo que os alunos aprendem é tema de preocupação, desde há muito, na comunidade educativa. Os estudantes constroem os seus próprios conceitos através da interação entre a estrutura cognitiva e a informação proveniente do meio físico e social, bem como do ensino formal que recebem na Escola. Esses conceitos autoconstruídos - as concepções alternativas - dificultam a apropriação dos conceitos reconhecidos pela comunidade científica.

O estudo exploratório aqui desenvolvido tem como finalidade promover a mudança conceptual relativa a conceitos de oxidação-redução, num grupo de alunos do ensino secundário profissional (n=7) da zona da Grande Lisboa.

O quadro teórico que serviu de suporte às opções conceptuais e metodológicas inscreve-se em diferentes correntes da Psicologia da Educação, da Epistemologia e História da Ciência. Designadamente, baseámo-nos na *Teoria da Equilibração* e *Construtivismo* de Piaget, na *Teoria da Aprendizagem Significativa* de Ausubel, nos *obstáculos* e *ruturas epistemológicas* de Bachelard e nas *revoluções científicas* de Kuhn, bem como na História da Química. Recorreu-se, também, a contributos de investigações empíricas na área da mudança conceptual, com especial destaque para as de Driver e Carey e, ainda, a um dos modelos de mudança conceptual por troca, o *Conceptual Change Model*.

Com base nestas referências foi concebido, avaliado e implementado em sala de aula, ao longo de duas semanas, um programa de intervenção para a promoção da mudança conceptual por troca. Os dados foram recolhidos através de um pré e pós-teste concebido e avaliado propositadamente para ser usado neste estudo. Foram identificadas, no pré-teste, a maior parte das concepções alternativas previstas com base na literatura, relativamente a conceitos de oxidação-redução, bem como duas potenciais concepções alternativas que, não tendo sido previstas no início do estudo, emergiram ao longo da implementação do programa de intervenção.

Através de uma análise de conteúdo e da aplicação do teste *t* de student como ferramenta de análise estatística, os resultados permitem apontar para a eficácia das atividades implementadas na sala de aula com recurso ao *Conceptual Change Model*

como potencial estratégia de promoção da mudança conceptual por troca relativamente a conceitos de oxidação-redução.

Palavras-chave: Mudança conceptual, concepções alternativas, conceitos científicos sobre oxidação-redução.

Abstract

The discrepancy between what teachers teach and what students learn is a matter of concern since long ago in the educational community. Students construct their own concepts through the interaction between their mental structures and the information they receive from the physical and social environment, as well as from the formal education they receive in school. These self built concepts - the misconceptions - hinder the appropriation of concepts recognized by the scientific community.

This exploratory study was outlined in order to promote conceptual change on the concepts involved in oxidation-reduction chemical reactions, into a group of students in secondary vocational education (n=7) of the Greater Lisbon area.

The theoretical framework that supports the conceptual and methodological options falls on different streams of Psychology of Education, Epistemology and History of Science. In particular, we relied on the Theory of Equilibration and Constructivism of Piaget, the Theory of Meaningful Learning of Ausubel, obstacles and epistemological ruptures of Bachelard and Kuhn's scientific revolutions, as well as the History of Chemistry. We also considered contributions of research in the area of conceptual change, with particular emphasis on Driver's and Carey´s studies, and yet the Conceptual Change Model.

Based on these references, we designed, implemented and evaluated, in the classroom, over two weeks, an intervention programme for promoting conceptual change. Data were collected through a pre and post-test, purposely designed and assessed for use in this study. We identified at the pre-test, most of the misconceptions that were intended according to the literature for oxidation-reduction concepts, as well as two other potential misconceptions that were not foreseen at the beginning of the study but emerged during the implementation of the intervention program.

Through a content analysis and the application of the student *t* test as statistical analysis tool, the results show for effectiveness of the activities implemented in the classroom using the Conceptual Change Model as a potential strategy for promoting the conceptual change concerning redox concepts.

Keywords: conceptual change, misconceptions, scientific concepts on oxidation-reduction.

Lista de Abreviaturas

CA - Concepção Alternativa

CC - Conceito Científico

CCM - Conceptual Change Model

CLM - Constructivist Learning Model

d- magnitude do efeito, d de Cohen

g.l.- graus de liberdade

MCA - Movimento das Concepções Alternativas

n- número de sujeitos participantes do estudo

p – nível de significância

PSHG - modelo de Posner, Strike, Hewson e Gertzog

s- desvio padrão da amostra

t- teste *t* de student

TTT - Two Tier Test

$\bar{X}$- media da amostra

μ- média da população

σ- desvio padrão da população

Índice Geral

CAPÍTULO

1- INTRODUÇÃO……1
1.1- Enquadramento e relevância do estudo……1
1.2- Definição de termos……8
1.2.1- Mudança conceptual……8
1.2.2- Troca conceptual……8
1.2.3- Captura conceptual……8
1.2.4- Conflito cognitivo……8
1.2.5- Modelos de mudança conceptual……8
1.2.6- Concepções alternativas……9
1.2.7- Conceitos científicos……9
1.2.8- Estrutura cognitiva……9
1.2.9- Construtivismo……9
1.3- Opções metodológicas……9

2- REVISÃO DE LITERATURA……10
2.1- As concepções alternativas……10
2.1.1- Fontes das concepções alternativas……11
2.1.2- Fundamentação das concepções alternativas……12
2.1.2.1- Os contributos da Epistemologia de Bachelard e de Kuhn 12
2.1.2.2- Os contributos da Psicologia Cognitiva de Piaget e de Ausubel……14
2.1.3- O Movimento das Concepções Alternativas: origens e fundação…..17
2.1.4- Caracteristicas gerais das concepções alternativas……..23
2.1.5- O diagnóstico das concepções alternativas: o professor como médico……25
2.1.6- A complexidade da aprendizagem da Química……35
2.1.7- Evolução histórica dos conceitos de oxidação e redução……37
2.1.7.1- O modelo do oxigénio……37

2.1.7.2- O modelo de transferência de eletrões…….43
2.1.7.3- O modelo do número de oxidação……49
2.1.8- Concepções alternativas relativas aos conceitos de oxidação e redução…….56
2.2- A mudança conceptual……59
2.2.1- Mudança conceptual por evolução ou revolução?.....59
2.2.2- Implicações dos estudos sobre mudança conceptual para o ensino dos conceitos de oxidação e redução……62
2.2.3- A captura conceptual……...……71
2.2.3.1- Fundamentação segundo Toulmin……71
2.2.4- A troca conceptual…….…..74
2.2.4.1- O modelo PSHG…….…….…..75
2.2.4.2- O modelo de Nussbaum e Novick…….……80
2.2.4.3- O modelo de Cosgrove e Osborne……80
2.2.4.4- O modelo de Driver e Oldham…….…….83
2.2.4.5- O modelo dos 5 És……85
2.2.4.6- O Constructivist Learning Model…….87
2.2.4.7- O Conceptual Change Model……89
2.2.5- Dificuldades na promoção do conflito cognitivo……95
2.2.6- Considerações finais acerca da mudança conceptual…….…..100

3- METODOLOGIA…….……..106
3.1- Desenho de investigação……...……106
3.2- Amostra……...……..107
3.2.1- Constituição da amostra..……..107
3.2.2- Caracterização da amostra…….108
3.3- Planeamento do estudo……..108
3.3.1- Concepção do questionário……...…111
3.3.2- Desenvolvimento do questionário...…….……113
3.3.2.1- Análise das respostas ao questionário no estudo piloto….113
3.3.2.1.1- Primeira versão…….....119
3.3.2.1.2- Segunda versão…….122
3.3.3- Concepção do programa de intervenção……...…128

3.3.4- Desenvolvimento do programa de intervenção-
estudo piloto……133
3.4- Implementação do programa de intervenção……..…135
3.4.1- Atividade introdutória……...……136
3.4.2- Primeira fase do modelo CCM: compromisso com uma posição….139
3.4.3- Segunda fase do modelo CCM: expor as ideias…….…...139
3.4.4- Terceira e quarta fases do modelo CCM: confrontar
as ideias e acomodar os conceitos…….…140
3.4.5- Quinta fase do modelo CCM: extensão do conceito…….…150
3.4.6- Sexta fase do modelo CCM: ir além…….……150
3.5- Administração do pré e do pós-teste…….151
3.6- Considerações sobre a análise estatística a efetuar……...…153
3.7- Roteiro do programa de intervenção……..155

4- RESULTADOS……..156
4.1- Primeiros ensaios na identificação de concepções alternativas e de……156
conceitos científico
4.2- Análise das respostas ao pré e pós-teste do estudo principal……..…….162
4.3- Análise preliminar das concepções alternativas……166
4.4- Mudança conceptual: das concepções alternativas aos conceitos
Científicos…….169
4.5- Mudança conceptual entre a situação inicial e o final da intervenção…….175
4.6- Síntese final dos resultados…….……..179

5- CONCLUSÕES……181
5.1- Mudança conceptual relativa a reações de oxidação-redução……181
5.2- Limitações do estudo…….……..187
5.3- Propostas de futuras investigações……..195
5.4- Considerações finais……198

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS……..….200

7- APÊNDICES

Apêndice A- Versões 1, 2 e 3 do questionário...……222

Apêndice B- Atividade introdutória……...234

Apêndice C- Atividades: parte 1 e parte 2……..239

Apêndice D- Registo fotográfico das atividades experimentais……..…262

8- ANEXOS

Anexo A- Regras para a atribuição dos números de oxidação……...265

Anexo B- A avaliação no modelo CCM…….266

Índice de Tabelas

Tabela 1- Testes TTT desenvolvidos desde os anos 80 em temas relacionados com a Física e Química……..……29
Tabela 2- Resumo das concepções alternativas relacionadas com as reações de oxidação-redução……..57
Tabela 3- Estratégias que promovem a mudança conceptual por troca e por captura……63
Tabela 4- Paralelismo entre a teoria da evolução de Darwin e a evolução da Ciência segundo Toulmin……...74
Tabela 5- As fases do modelo de Cosgrove e Osborne…….…..82
Tabela 6- Identificação das concepções alternativas dos alunos…….……..114
Tabela 7- Roteiro do programa de intervensão……...……..155
Tabela 8- Resultados da primeira versão do questionário…….157
Tabela 9- Resultados da segunda versão do questionário……...……..159
Tabela 10- Resultados do pré-teste e pós-teste…….…167
Tabela 11- Mudança conceptual por questão……171
Tabela 12- Mudança conceptual por aluna……173
Tabela 13- Mudança conceptual por concepção alternativa identificada no pré-teste..174
Tabela 14- Cotações do pré e pós-teste…….……175

Índice de Figuras

Figura 1- Exemplo de banda desenhada conceptual……..….27
Figura 2- Exemplo de um item de um teste TTT……28
Figura 3- Mapa conceptual e concepções alternativas……32
Figura 4- O Triângulo de Johnstone……36
Figura 5- O mecanismo de Grotthuss……..45
Figura 6- Exemplo de uma reação química de acordo com a teoria dualista de Berzelius……...…46
Figura 7- Mudança de paradigmas, de teorias e mudança conceptual……68
Figura 8- Captura conceptual e troca conceptual nos três modelos de interpretação das reações de oxidação-redução……..70
Figura 9- O modelo de mudança conceptual de Nussbaum e Novick……81
Figura 10- As fases do modelo de Driver e Oldham……..84
Figura 11- O ciclo de aprendizagem baseado no modelo dos 5 És……86
Figura 12- O Constructivist Learning Model…….88
Figura 13- O Conceptual Change Model……90
Figura 14- As alterações sofridas pelos conceitos durante a mudança conceptual…..101
Figura 15- Mapa conceptual sobre o tópico Ligações Químicas……..138
Figura 16- Definição de oxidação e de redução de acordo com o modelo do oxigénio……141
Figura 17- Definição de oxidação e de redução de acordo com o modelo de transferência de eletrões……..143
Figura 18- Definição de oxidação e de redução de acordo com o modelo do número de oxidação……146
Figura 19- Analogia entre o cálculo de números de oxidação e uma balança desequilibrada……..148
Figura 20- Mapa conceptual relativo a conceitos de oxidação-redução……..152
Figura 21- Percentagens observadas nas respostas ao pré-teste e ao pós-teste……168

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

Neste capítulo, explicamos o âmbito em que surgiu este estudo, bem como as linhas de investigação que se tomaram por base. Argumentamos a relevância do nosso estudo e formulamos a questão a ser investigada. Depois, apresentam-se as definições dos termos mais utilizados e, por fim, mencionamos o desenho de investigação adotado e a metodologia que se ponderou usar no tratamento e análise de dados.

1.1- Enquadramento e relevância do estudo

A visão tradicional do ensino das ciências considera que o aluno não traz para a sala de aula qualquer conhecimento sobre um tema a estudar; o aluno era assim considerado como uma *mente em branco* que deveria ser preenchida pelo professor, mediante a transmissão de conhecimentos. A constatação de que, ao iniciarem o seu percurso escolar formal, as crianças já traziam ideias sobre os mais variados temas, advém dos anos 20 do século XX, a partir das investigações de Piaget. Essas ideias prévias pretendem dar significado às palavras e exprimem uma visão do mundo dotada de coerência do ponto de vista do aluno. Várias são as designações atribuídas a essas ideias prévias, principalmente, na literatura de língua inglesa: *ciência das crianças*, *ideias erradas*, *preconcepções* (*preconceptions*), *conhecimento intuitivo*, *estrutura conceptual (conceptual framework)*, *ideias ingénuas (naive ideas)*, entre outras; atualmente, a designação mais corrente, em língua inglesa, é *misconceptions*, traduzido livremente por *concepções alternativas*. Muitas destas designações apresentam ambiguidade por estarem relacionadas quer com uma conotação positiva, quer negativa que se atribui às ideias dos alunos (Leite, 1993; Santos, 1998). Isto é, quando se lhes atribui uma conotação negativa, as ideias prévias dos alunos são vistas como incorreções e imperfeições da mente que deverão ser combatidas mediante um ensino formal eficaz. Pelo contrário, quando se lhes atribui uma conotação positiva, as ideias prévias dos alunos são vistas como explicações pessoais e inevitáveis, decorrentes da

necessidade de compreensão do mundo, próprias da natureza humana e que terão um valor relevante no processo de ensino e aprendizagem. Ao longo desta dissertação, designaremos as ideias prévias dos alunos por *concepções alternativas*, do inglês *alternative conceptions*; designamo-las por *concepções* por se referirem a formas pessoais de sentir e compreender algo e *alternativas,* porque substituem e se contrapõem aos conceitos aceites pela comunidade científica de determinada época para a explicação dos fenómenos- os conceitos científicos. A designação *concepções alternativas* terá, assim, uma conotação positiva (Leite, 1993), pelo que nos colocamos, à partida, numa posição de tolerância para com tais concepções por lhes reconhecermos valor pedagógico. Realçamos que, apesar de tolerantes para com tais concepções, é nossa firme intenção que os alunos passem por um processo de mudança, das concepções alternativas para os conceitos científicos, processo este que a literatura designa por *mudança conceptual*.

Se antes de Piaget as concepções alternativas eram simplesmente ignoradas, a partir dos anos 60 e 70 do século passado acentuou-se a atribuição de uma conotação negativa àquelas concepções e a assunção de que poderiam ser eliminadas através do ensino formal. Grande parte da investigação em Educação, naquelas décadas, procurava determinar em que estádio de desenvolvimento da criança se deveria iniciar o estudo de determinado tema. Foi no final dos anos 70 e início dos anos 80, perante a constatação de um crescente insucesso na aprendizagem das ciências, que os investigadores começaram a colocar em causa a adequação do currículo a estádios de desenvolvimento mental e desviaram a sua atenção para a *Teoria da Aprendizagem Significativa* de Ausubel, publicada em 1968. Segundo este psicólogo, o fator mais importante para a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe e, portanto, só ocorrerá aprendizagem se o aluno relacionar os novos conhecimentos com aqueles que já detém. Foi Driver quem, em 1978, redirecionou a investigação acerca das concepções alternativas. Para além de ter descrito um vasto número de concepções alternativas relacionadas com temas da Física – veja-se por exemplo Driver et al. (1985) – a autora argumentou que as estratégias de ensino utilizadas até à altura e que a adequação do currículo de ciências a estádios de desenvolvimento mental estava a ser ineficaz para a superação das concepções alternativas. Seria necessário, pois, trazer para a sala de aula as concepções alternativas para que os alunos delas tomassem consciência e, a partir daí, construir um caminho que conduzisse a conceitos científicos. Esta nova posição, a de trabalhar *com,* e não *contra* as concepções alternativas vai de encontro à Teoria da Apendizagem

Significativa de Ausubel. Aliás esta teoria, essencialmente psicológica, reconhece a resistência de tais concepções e designa-as por *preconcepções*. Com efeito, segundo Ausubel et al. (1980), o "processo de eliminar preconcepções pode muito bem vir a mostrar-se como o fator isolado mais determinante na aquisição e retenção de conhecimento (…) estas preconcepções são surpreendentemente tenazes e resistentes à extinção (…) são inerentemente estáveis." (p.311). Ora a investigação em Educação tem confirmado estas afirmações. Por exemplo, Leite (1993) entrevistou alunos de uma turma do décimo ano do sistema de ensino português para identificar concepções alternativas relativamente a conceitos de *Mecânica*, verificando que apenas 2,9% das respostas não evidenciavam tais concepções. A investigadora não implementou qualquer estratégia com vista a alterar tais concepções, pelo que os alunos prosseguiram o seu percurso escolar com os respetivos professores e de acordo com o currículo português vigente na altura. Após o término da aprendizagem daquele tema, ao fim de um período letivo, Leite voltou a entrevistar os alunos e constatou que a percentagem de respostas que não apresentavam concepções alternativas aumentou para 13,6%, o que, na nossa opinião, evidencia a resistência das concepções alternativas. Mais recentemente, também em Portugal, Lagarto (2011) aplicou questionários a duas turmas do segundo ciclo do ensino básico antes e após o ensino formal, ao fim de um mês, para identificar a evolução de conceitos sobre o sistema circulatório humano. A autora verificou que algumas concepções alternativas persistiam após o ensino. Estes exemplos de investigação corroboram a ideia de que as concepções alternativas são resistentes à mudança promovida através do ensino formal.

Desde o impulso inovador dado por Driver, a partir da década de 80, a investigação em Educação procurou responder, então, à questão seguinte: partindo das concepções alternativas dos alunos, quais as estratégias de ensino mais eficazes que conduzirão a conceitos científicos? Ou seja, como promover a mudança conceptual em sala de aula? Para responder a esta questão, a Epistemologia da Ciência veio dar um contributo decisivo. Duas correntes antagónicas procuraram dar respostas: uma delas, defendida por Toulmin (1972), advogava uma visão contínua da Ciência segundo a qual esta progride por um lento acumular de conhecimentos. Em sua oposição, uma visão descontínua da Ciência defendida, nomeadamente, por Bachelard e Kuhn, argumentava que o progresso na Ciência ocorreria por superação de obstáculos que impediriam o seu avanço, pelo que a evolução de teorias científicas ocorreria por ruturas. Quando essas teorias fossem radicalmente distintas, quer nas assunções quer nos métodos de

investigação, constituiam aquilo que Kuhn designou por paradigmas, os quais podiam ser incomensuráveis se não tivessem nada em comum e, por conseguinte, a substituição de um paradigma por outro ocorreria por revolução.

Carey, psicóloga, transpôs estes contributos da Epistemologia da Ciência para a investigação em Educação na década de 80. Com base nos estudos empíricos realizados com crianças do primeiro ciclo, a autora advogou que, na área da Biologia, as alterações sofridas pelos conceitos detidos pelas crianças relativos ao mundo vivo são semelhantes às alterações de teorias preconizadas pelas visões descontínuas da Ciência.

Na sequência dos estudos de Carey surgiram diversos modelos de ensino que, dirigindo-se explicitamente às concepções alternativas dos alunos, pretendiam substituí-las por conceitos científicos; é o caso do modelo dos 5 És e do Conceptual Change Model. Esta substituição, que constitui o mecanismo de mudança conceptual designado por troca, não se tem afigurado fácil. No presente estudo, elegeu-se este mecanismo – a troca conceptual – como estratégia para intervenção em sala de aula, com o propósito de promover a mudança conceptual nos alunos.

Proseguindo a substituição de concepções alternativas por conceitos científicos, a investigação relativa às problemáticas das concepções alternativas e da mudança conceptual, que atingiu o auge nos anos 80 do século XX, perdura até à atualidade. Numa revisão sobre os temas que têm despertado maior interesse na investigação educacional, Treagust (2004) refere que, no período compreendido entre 1974 e 2004, o tema *mudança conceptual* está entre os que têm merecido a atenção dos investigadores. Com efeito, a mudança conceptual e as concepções alternativas têm sido áreas de interesse da investigação ao longo das últimas décadas, pois tal como afirmam Lopes et al. (2005), "são linhas de investigação omnipresentes" (p. 4).

Em Portugal, a investigação sobre concepções alternativas iniciou-se nos anos 80, década em que, de acordo com Martins et al. (2008), a investigação no Ensino das Ciências deu os primeiros passos no nosso país. O principal rosto desses estudos pioneiros foi Cachapuz, que coordenou, nos anos 80, o projeto de investigação "Das concepções alternativas dos alunos ao ensino da Física e da Química para a mudança conceptual- Ensino Básico e Secundário" (Martins et al., 2008, p.7). Daquele projeto resultaram, entre outras, as teses de doutoramento de Martins (1990) e Marques (1995), que investigaram concepções alternativas acerca dos temas energia das reações químicas e ciências da Terra, respetivamente. Nos anos 80 e 90 surgiram estudos impulsionados por Sequeira, de que são exemplo Sequeira e Freitas (1987), Sequeira e

Leite (1990) e Sequeira e Duarte (1991). Destas investigações resultaram, entre outros estudos, a tese de doutoramento de Leite (1993), sobre concepções alternativas em Mecânica. Ainda nos anos 90, salientamos a tese de doutoramento de Valadares (1995), também sobre concepções alternativas em Mecânica e os trabalhos de Santos (1991a, 1991b, 1998) sobre mudança conceptual. Em 2009, Duit publicou numa resenha de investigação sobre concepções alternativas e sobre mudança conceptual, uma lista de 8400 artigos, livros e comunicações em língua inglesa, produzidos até àquela data. Nesta revisão, contámos 23 publicações de autores portugueses. Tratam-se, maioritariamente, de artigos publicados em três das revistas de língua inglesa mais influentes sobre investigação em Educação no Ensino das Ciências: SE- *Science Education*, JRST- *Journal of Research in Science Teaching* e IJSE- *International Journal of Science Education*. A este propósito, Treagust (2004) referiu que, à data, "dos autores que publicaram no JRST, entre 1990 e 1999 (…) 28% eram de fora dos Estados Unidos da América, com um aumento do número atual de nacionalidades representadas, em que as publicações de Portugal, Alemanha e Espanha são as que mais se evidenciaram" (p.128,129). Estes dados evidenciam que as concepções alternativas e a mudança conceptual perduram como temas relevantes na investigação em Educação no Ensino das Ciências.

Para termos um vislumbre mais atual do estado da arte em Portugal, fizemos uma pesquisa no RCAAP - *Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal* (Fundação para a Computação Científica Nacional, 2008). Nele encontrámos várias publicações das quais realçamos as seguintes: Silva, Gonçalves e Poças (2012), que implementaram uma estratégia de mudança conceptual em sala de aula sobre o sistema circulatório humano; Sousa e Guimarães (2011) que administraram um questionário a alunos do primeiro ciclo do ensino básico para identificarem concepções alternativas sobre germinação e crescimento de plantas e, da análise das respostas, concluiram que tais concepções têm origem na experiência do quotidiano; Bonito et al. (2011), que averiguaram concepções alternativas de alunos do terceiro ciclo do ensino básico sobre o tempo geológico e argumentam que tais concepções dificultam a compreensão de fenómenos geológicos e da História da Terra; Machado e Lima (2009), que identificaram concepções alternativas de alunos do primeiro ciclo do ensino básico sobre o ciclo da água e implementaram atividades experimentais para promover a mudança conceptual; Peixoto (2009) que investigou as concepções alternativas de alunos do nono, décimo e décimo primeiro ano sobre o efeito de estufa e o aquecimento

global e argumenta que o aumento de escolaridade dos alunos não conduz a um maior domínio de conhecimentos relacionados com aqueles temas, tendo verificado, inclusivé, a persistência de um grande número de concepções alternativas; Lourenço (2008) que identificou concepções alternativas de alunos do sétimo, nono e décimo primeiro anos sobre eletromagnetismo e propõe a introdução de temas de História do eletromagnetismo como forma de contribuir para a mudança conceptual e Soares (2007), que investigou concepções alternativas dos alunos do oitavo ano sobre acústica e implementou, no grupo experimental, uma estratégia de mudança conceptual baseada em atividades experimentais, tendo verificado que as estratégias que recorrem a atividades experimentais são mais eficazes na promoção da mudança conceptual.

Os estudos que acabámos de mencionar revelam que a investigação sobre concepções alternativas e mudança conceptual continua a decorrer ativamente em Portugal. Todavia, apercebemo-nos da existência de muita investigação na identificação de concepções alternativas, mas pouca na prossecução de estratégias que visem promover a mudança conceptual relativa às concepções identificadas. Dos modelos de mudança conceptual propostos desde os anos 80, como forma de promover a mudança conceptual, muitos incluem o conflito cognitivo como mecanismo indutor da mudança conceptual. De acordo com estes modelos, caberá ao professor promover na sala de aula o conflito cognitivo, do qual resultará uma insatisfação do aluno com as suas concepções alternativas, o que facilitará o caminho para a mudança conceptual. É disto que trata o presente estudo, ou seja, ensaiam-se estratégias de promoção do conflito cognitivo em sala de aula para promover a mudança conceptual.

Para a nossa dissertação, o tema que escolhemos é a oxidação-redução, no domínio da Química. Em primeiro lugar, impõe-se a resposta à questão: Porquê incidir neste tema? Da literatura que consultámos, apercebemo-nos que são identificadas muitas concepções alternativas manifestadas pelos alunos relativamente a este tópico. No entanto, à data em que iniciámos este estudo, não encontrámos estudos, portugueses ou estrangeiros, que propusessem estratégias eficazes de mudança conceptual a serem implementadas em sala de aula para que os alunos superassem concepções alternativas sobre conceitos de oxidação-redução. Acrescente-se a esta razão, relatos de investigação que apontam a oxidação-redução como um dos capítulos da Química que apresenta maiores dificuldades na aprendizagem por parte dos alunos e no ensino por parte dos professores. Por exemplo, num questionário administrado a 100 professores destinado a averiguar quais os conceitos de Química que consideravam que os alunos tinham maior

dificuldade em aprender, Finley, Stewart e Yarroch (1982) referiram que os relacionados com a oxidação-redução ocupavam o terceiro lugar numa lista de 15 considerados difíceis. Os conceitos relacionados com o equilíbrio químico ocupavam o primeiro lugar e os relacionados com a mole, o segundo lugar. Num outro estudo, Johnstone (2006) questionou 1000 alunos sobre temas de Química onde mais sentiam dificuldade. O questionário incluía uma lista de todos os tópicos que constavam do currículo inglês em vigor e para cada um, os alunos deveriam indicar um grau de dificuldade de compreensão. Mais de 50% dos alunos referiram que nunca tinham entendido os conceitos de oxidação-redução e precisavam de os aprender de novo.

Estes relatos de investigação corroboram que os conceitos de oxidação-redução estão entre os de maior dificuldade na aprendizagem, no domínio da Química. Por conseguinte, o principal contributo da presente dissertação será, a nosso ver, um conjunto de estratégias e atividades fundamentadas e destinadas a ser implementadas em sala de aula no ensino secundário, para promover eficazmente a mudança conceptual respeitante a conceitos de oxidação-redução. Para além disto, propõem-se potenciais novas concepções alternativas que, não sendo o propósito deste estudo, acabaram por emergir como padrão à medida que decorreu o programa de intervenção. Ainda como contributo para que outros na comunidade educativa possam usar, foi desenhado e avaliado um instrumento que pretende identificar concepções alternativas relacionadas com o tema oxidação-redução.

Tais contributos surgirão como resultados da principal finalidade da nossa dissertação que é encontrar resposta para a seguinte questão de investigação: "Será que uma estratégia de mudança conceptual, por nós concebida para implementar em sala de aula, com base em pressupostos epistemológicos e psicológicos, nos tópicos da História da Química considerados relevantes e no modelo Conceptual Change Model, conduzirá a uma troca conceptual relativa a conceitos de oxidação-redução?".

1.2- Definição de termos

Indicam-se, a seguir, as definições que foram adoptadas para os termos mais relevantes da nossa dissertação: mudança conceptual, troca conceptual, captura conceptual, conflito cognitivo, modelos de mudança conceptual, concepções alternativas, conceitos científicos, estrutura cognitiva e construtivismo.

1.2.1- Mudança conceptual.

Processo através do qual se passa das concepções alternativas para os conceitos científicos (Posner et al., 1982; Carey, 1985, 1991; Chi, 1992; Santos, 1991b, 1998; Duit, 1999, Treagust e Duit, 2008).

1.2.2- Troca conceptual.

Tipo de mudança conceptual na qual as concepções alternativas são substituídas pelos conceitos científicos (Posner et al. 1982; Carey, 1985, 1991; Chi, 1992; Santos, 1991b, 1998).

1.2.3- Captura conceptual.

Tipo de mudança conceptual na qual os conceitos científicos são adicionados à estrutura cognitiva do aluno e reconciliados com as concepções alternativas (Posner et al., 1982; Carey, 1985, 1991; Chi, 1992; Santos, 1991b, 1998; Mortimer, 2006).

1.2.4- Conflito cognitivo.

Estado de tensão e desconforto interiores que ocorre quando a estrutura cognitiva do aluno não consegue explicar determinado fenómeno ou situação ou fornece explicações que são contraditórias com as evidências. (Piaget, 1977a, 1990; Chinn e Brewer, 1993; Santos, 1998; Limón, 2001)

1.2.5- Modelos de mudança conceptual.

Conjunto de estratégias e ações a serem implementadas em sala de aula, normalmente por etapas e faseadas ao longo de um determinado intervalo de tempo, que pretendem induzir e promover a mudança conceptual (Carey, 1985, 1991; Osborne e Freyberg, 1985; Santos, 1991b, 1998; Duit, 1999).

1.2.6- Concepções alternativas.

Ideias e explicações que, não consistindo em erros ocasionais ultrapassáveis pelo ensino formal, não coincidem com os conceitos científicos, são persistentes e resistentes à mudança e estão dotados de uma coerência interna e de utilidade para os que as possuem (Driver et al., 1985; Carey, 1985, 2009; Leite, 1993; Valadares, 1995; Santos, 1991a, 1998).

1.2.7- Conceitos científicos.

Ideias e explicações sobre fenómenos e situações maioritariamente aceites pela comunidade científica numa determinada época (Carey, 1985, 2009; Leite, 1993; Valadares, 1995; Santos, 1991a, 1998; Kuhn, 2009).

1.2.8- Estrutura cognitiva.

Conjunto de todos os conceitos (científicos e concepções alternativas) detidos pelo sujeito e das relações estabelecidas entre esses conceitos que permitem a apreensão e explicação do mundo que o rodeia. (Ausubel et al., 1980; Moreira e Masini, 1982; Pozo e Gómez Crespo, 2009; Valadares e Moreira, 2009).

1.2.9- Construtivismo.

Corrente pedagógica que considera que o aluno tem um papel ativo e responsável pela sua aprendizagem, enquanto o professor assume um papel de orientador e facilitador dessa aprendizagem (Piaget, 1977a, 1990; Novak, 1993; Mintzes e Wandersee, 1998; Santos, 1998; Valadares e Moreira, 2009).

1.3- Opções metodológicas.

Atendendo à finalidade do estudo que é dar resposta à questão de investigação formulada e à não aleatoriedade na seleção dos sujeitos da amostra, recorreu-se ao desenho de investigação quasi-experimental, com pré e pós-teste, sem grupo de controlo.

Para organizar qualitativamente os dados colhidos, recorreu-se a uma análise de conteúdo efetuada de acordo com as técnicas descritas por Bardin (2011). Para analisar quantitativamente os dados, a opção recaiu sobre uma ferramenta estatística de análise paramétrica, o teste *t* de student para amostras emparelhadas.

CAPÍTULO 2
REVISÃO DE LITERATURA

Iniciamos este capítulo com a análise do que são as concepções alternativas em Ciência e quais as suas origens. Faremos uma breve resenha histórica sobre o Movimento das Concepções Alternativas. São, ainda, abordadas as características gerais das concepções alternativas, bem como as formas recomendadas na literatura de as diagnosticar.

Daremos conta da fundamentação das concepções alternativas à luz da epistemologia de Bachelard e de Kuhn e dos quadros psicológicos de Piaget e Ausubel, e de como estas teorias suportam a mudança conceptual. Duas grandes correntes de mudança conceptual são colocadas em confronto: a troca e a captura. Analisaremos vários modelos que têm por base cada uma destas conceptualizações, com especial ênfase para o modelo de troca conceptual eleito para implementarmos com os alunos na parte metodológica, o *Conceptual Change Model*.

Faremos uma breve incursão na evolução histórica da compreensão das reações de oxidação-redução que nos ajudará a interpretar as concepções alternativas relativas a este tema documentadas na literatura, cujas consequências para o ensino deste tópico nos levaram a optar por um modelo de troca conceptual para a nossa intervenção.

2.1-As concepções alternativas

Após terem sido completamente ignoradas na sala de aula, as concepções alternativas dos alunos passaram a ser tomadas em conta no processo do ensino-aprendizagem a partir de meados dos anos 70 do século passado.

Segundo a orientação construtivista da aprendizagem, os alunos constroem os seus próprios conhecimentos através da interação entre as suas estruturas mentais e a informação que recebem do meio físico e social. Por conseguinte, os alunos chegam ao ensino formal com ideias prévias por eles construídas e que resultam da necessidade pessoal de conhecer e interpretar os fenómenos que nos rodeiam. Tal como confirmam

Osborne e Wittrock (1983), "as crianças desenvolvem ideias sobre o seu mundo, desenvolvem significados para as palavras usadas em ciência e desenvolvem estratégias para obterem explicações sobre o 'como' e o 'porquê' dos fenómenos, muito antes de a Ciência lhes ser formalmente ensinada". (p. 491). Estas ideias prévias não cessam com o ensino formal das ciências, pelo contrário, permanecem e podem, até, ser reforçadas à medida que o aluno toma contacto com novos fenómenos e novos problemas, assumindo um caráter vitalício, transversal a todas as etapas de uma vida humana desde a infância até à idade adulta, embora com um grau crescente de complexidade e de estruturação mental; todavia, parecem expressar-se com maior extensão e evidências até à segunda década de vida (Carey, 2000). O termo *prévio* com que se adjetivou estas ideias é, portanto, manifestamente insuficiente para as descrever já que, não só perduram para além do ensino formal, como se constituem enquanto modelos lógicos explicativos, em alternativa aos conceitos científicos. Entendam-se aqui por *conceitos científicos*, na perspetiva de Kuhn (2009), os conceitos aceites numa época, como corretos, pela comunidade científica para explicarem determinados fenómenos. Estas ideias dos alunos, que constituem alternativas aos conceitos reconhecidos pela comunidade científica, são amplamente referidas na literatura como *concepções alternativas*.

2.1.1- Fontes das concepções alternativas

Mintzes e Wandersee (1998) explicitam as fontes das concepções alternativas, referindo-se a estas como "o produto de um conjunto diverso de experiências pessoais que inclui a observação direta dos objetos e fenómenos naturais, a cultura dos amigos, a linguagem do dia-a-dia e os mass media, assim como a intervenção do ensino formal" (p. 82). Tal como os autores referem, as expressões do dia-a-dia são poderosas fontes de concepções alternativas tornando, frequentemente, os significados de determinadas expressões usadas em Ciência diferentes dos significados percecionados pelos alunos. Osborne, Bell e Gilbert (1983) também advogam este ponto de vista:

> Se existirem diferenças entre a linguagem do dia-a-dia e os significados técnicos específicos que a Ciência atribui às palavras, então é importante relembrar constantemente aos estudantes que as palavras têm significados múltiplos e identificar claramente a que significado nos estamos a referir numa determinada lição. Temos ficado surpreendidos com a frequência com que os estudantes trazem para a aula de ciências o significado do dia-a-dia para uma palavra e interpretam muito do que é ensinado a partir dessa perspetiva. (p. 7)

Razões de outra natureza também justificam a manifestação de concepções alternativas, sobretudo, nas crianças. Nomeadamente, estas mostram a tendência para fazer uma observação dos fenómenos centrada em si próprias e no ser humano; ou seja, manifestam uma visão egocêntrica e antropocêntrica do mundo. As crianças também não têm em consideração variáveis que controlam as experiências (como, por exemplo, a ebulição da água a baixa pressão), nem sentem a necessidade de uma coerência e não-contradição entre as explicações de fenómenos semelhantes (Osborne e Wittrock,1983; Osborne, Bell e Gilbert, 1983).

Schmidt, Saigo e Stepans (2006) apontam outras fontes das concepções alternativas em contexto de aula: (1) os manuais escolares que contêm erros, explicações demasiado simplistas ou uma sobrevalorização das definições; (2) diagramas e modelos físicos não realistas; (3) representações bidimensionais de fenómenos tridimensionais; (4) concepções alternativas dos professores que são inadvertidamente partilhadas com os alunos; (5) falta de consciência por parte dos alunos das suas próprias concepções; (6) dificuldade do aluno em estabelecer relações entre as suas experiências e os conteúdos que estão a ser apresentados na sala de aula e (7) tempo insuficiente dedicado às questões dos alunos.

Apesar da constatação de que as crianças trazem ideias prévias para o ensino formal e que perduram para além deste ser algo que remonta aos anos 20 e 30 do século passado com os trabalhos de Piaget, só nos anos 70 esta constatação começou a ter impacto pedagógico.

2.1.2- Fundamentação das concepções alternativas

As concepções alternativas têm o seu fundamento teórico nas epistemologias de Bachelard e Kuhn, no construtivismo, na teoria da equilibração de Piaget e na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel que passamos a analisar.

2.1.1.2- Os contributos da epistemologia de Bachelard e de Kuhn

Os estudos acerca dos contributos de Bachelard e Kuhn para a Didática das Ciências são recentes.

Para Bachelard, a História da Ciência é a história das suas rupturas e erros, conflitos e impasses (obstáculos) que impedem o avanço científico. Os obstáculos epistemológicos têm peso sobre o desenvolvimento científico, constituindo-se como

impedimentos e entraves: são uma rede de intuições sedutoras, de ingenuidades, de hábitos de pensamento, de falsas explicações e de facilidades ilusórias. Bachelard (2006) refere que "quando o espírito se apresenta à cultura científica, nunca é jovem. Aliás, é bem velho, porque tem a idade dos seus preconceitos. Aceder à Ciência é rejuvenescer espiritualmente, é aceitar uma mutação brusca que contradiz um passado"(p.20). Os preconceitos de que fala Bachelard são os obstáculos epistemológicos e a mutação brusca, refere-se à necessidade de os destruir como condição necessária para o avanço no estudo da Ciência. Bachelard identifica esses obstáculos, sendo um deles o *senso comum*. Esses obstáculos são resistentes e difíceis de destruir (como também o são as concepções alternativas); a causa dessa resistência encontra-se no instinto conservador, que acaba por levar a melhor sobre o instinto formativo. Segundo Bachelard (2006):

> Chega um momento em que o espírito prefere o que confirma o seu saber àquilo que o contradiz, em que gosta mais de respostas do que de perguntas. O instinto conservativo passa então a dominar, e cessa o crescimento espiritual. (p.21-22)

Ainda nas palavras de Bachelard, o "espírito científico contemporâneo não poderia estar em continuidade com o simples bom senso" (p.109), pelo que o avanço ocorre por ruptura com o passado, vencendo os obstáculos epistemológicos. Transpondo a noção de *ruptura epistemológica* de Bachelard para a psicogénese, a ruptura com as concepções alternativas adivinha-se tortuosa para o indivíduo, já que compromete o "ser sensível", diminuindo a sua satisfação íntima; é natural que a mente humana, durante o acto cognitivo, procure a evidência sensitiva que a confirme e não a evidência racional que a contradiz.

A ideia de descontinuidade no avanço da Ciência veio a ser desenvolvida, também, por Kuhn, que argumenta que, numa determinada época do desenvolvimento da Ciência, as investigações científicas são orientadas e estruturadas por um paradigma (Kuhn, 2009), isto é, por uma visão geral do mundo que inclui não só, a teoria científica dominante da época, como também princípios filosóficos, metodologias, leis e procedimentos técnicos padronizados, nessa época, para a resolução de problemas. A Ciência progride por acumulação de conhecimentos durante períodos de tempo que Kuhn designa por "períodos de Ciência normal" e que se baseiam em paradigmas vigentes. Os cientistas trabalham com base num paradigma vigente; a pesquisa científica consiste em resolver problemas que se baseiam nesse paradigma, alargando o

âmbito da sua aplicação. Contudo, durante o período de Ciência normal, surgem períodos de "Ciência extraordinária" em que, devido à descoberta de anomalias tais como problemas, situações ou fenómenos para os quais o paradigma dominante não consegue fornecer explicações ou previsões confirmáveis, surgem as crises e as revoluções científicas. As diferenças entre dois paradigmas em confronto são tão profundas nas suas teorias e princípios filosóficos, nas metodologias e técnicas, que Kuhn considera os paradigmas "incomensuráveis", ou seja, não passíveis de ser comparados, já que nada têm em comum.

Também nesta linha de pensamento, diz-nos Morin (1994) que "incessantemente, meios de observação ou de experimentação novos, ou uma nova atenção, fazem surgir dados desconhecidos, invisíveis. A partir daí, as teorias deixam de ser adequadas e, se não for possível alargá-las, é necessário inventar outras novas" (p.18). As revoluções científicas consistem, fundamentalmente, na mudança dessas teorias, na mudança de paradigma, já que "a evolução do conhecimento científico não é unicamente de crescimento e de extensão do saber. É também de transformações, de rupturas, de passagem de uma teoria para outra. As teorias científicas são mortais, e são mortais por serem científicas" (Morin, 1994, p.18).

Que ensinamentos e contributos podemos retirar dos argumentos de Bachelard e de Kuhn para lidar com as concepções alternativas dos alunos e promover a mudança conceptual em sala de aula? À luz destas teorias, sem dúvida que os alunos também vivem nos seus paradigmas internos, muitas vezes alicerçados nas suas concepções alternativas. O que nos interessa, enquanto professores, é que os alunos vivenciem um processo cognitivo interno de mudança dessas concepções para os conceitos científicos - processo esse que se denomina por *mudança conceptual*. No entanto, dado o estado de autossatisfação e de conforto com que o aluno vive com as suas concepções alternativas, tal mudança não ocorrerá sem um motivo, sem algo que a provoque. Caberá, pois, ao professor, induzir o conflito cognitivo no aluno que o conduza à mudança conceptual.

2.1.2.2- Os contributos da Psicologia cognitiva de Piaget e de Ausubel

Segundo Piaget (1990), o conhecimento dos indivíduos não é inato, é um processo de construção contínuo a partir de estruturas já existentes:

> Toda a génese parte de uma estrutura e conduz a outra estrutura (…) O resultado mais claro das nossas pesquisas em psicologia da inteligência é que mesmo as

> estruturas mais necessárias no espírito do adulto, tais como as estruturas lógico-matemáticas, não são inatas na criança; constroem-se a pouco e pouco (…) Não há estruturas inatas: qualquer estrutura supõe uma construção. Todas estas construções remontam, uma a uma, a estruturas anteriores. (pp.201-202)

Assim, para induzir no aluno um conflito cognitivo que o leve à mudança conceptual, o aluno deverá ser colocado perante situações, problemas ou fenómenos para os quais as suas concepções alternativas não fornecem explicações ou, caso forneçam, estejam em contradição com as evidências. É, portanto, desejável que o professor use estratégias e recursos didáticos que promovam o conflito cognitivo entre as concepções alternativas e os conceitos científicos. Vejamos o que Piaget (1977a) escreve a este propósito tendo em atenção que, aos conflitos cognitivos, Piaget dá o nome de *desequilíbrios*:

> É evidente que numa perspectiva de equilibração, deve procurar-se nos desequilíbrios, uma das fontes de progresso no desenvolvimento dos conhecimentos, pois só os desequilíbrios obrigam um sujeito a ultrapassar o seu estado actual e procurar seja o que for em direcções novas. (p.23).

Quer isto dizer que, quando o sujeito não é capaz de assimilar cognitivamente um objeto (situação, problema ou fenómeno) e de perceber as relações que se ligam a esse objeto, estamos perante uma situação de desequilíbrio. A estrutura cognitiva do sujeito vai procurar integrar esse objeto mediante um processo de assimilação-acomodação, explicado por Piaget, de forma a atingir um novo estado de equilíbrio. O conflito cognitivo assume, aqui, o papel de mecanismo pelo qual se processa a mudança conceptual, é a fonte despoletadora; "os desequilíbrios desempenham apenas um papel de arranque, porque a sua fecundidade se mede pela possibilidade de os ultrapassar, por outras palavras, pela possibilidade de se livrar deles" (Piaget, 1977a, p.24).

Dependendo da intensidade com que o aluno o vive, o conflito cognitivo, se não for um momento de dor cognitiva, pelo menos deverá ser um momento incómodo e de algum desconforto. Importa destacar que o conflito cognitivo deverá provocar, no aluno, uma tentativa de assimilação dos novos conhecimentos que conduza ao estabelecimento da paz cognitiva, estado que não é igual ao anterior porque resulta de uma reconciliação entre novos e anteriores conhecimentos. É a este retorno ao estado anterior, diferente mas melhorado, que Piaget (1977a) chama *reequilibração*.

Também é no construtivismo que se enquadra a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980), "o factor isolado

mais importante que influencia a aprendizagem é o que o aprendiz já sabe. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos" (p.viii). Qualquer nova aprendizagem depende da estrutura cognitiva já existente, ou seja, da hierarquia de conceitos que resulta de uma abstração do aluno relativamente às experiências por si vividas. Assim, a aprendizagem significativa refere-se ao processo pelo qual os conhecimentos novos são relacionados, de modo substantivo, com conhecimentos relevantes previamente disponíveis na estrutura cognitiva. A esses conhecimentos anteriores e disponíveis, Ausubel deu o nome de *subsunçores*. Ocorre aprendizagem quando novas ideias se ligam aos subsunçores que servem de *ideias-âncora* (Moreira e Masini, 1982, p.11), às quais as novas ideias se vão ancorar. Deste processo, resulta que o subsunçor é incorporado ou alterado pela nova ideia, ficando assim modificado, integrado na estrutura cognitiva do aluno e disponível (como um novo subsunçor) para uma nova aprendizagem significativa.

Como são, então, explicadas as concepções alternativas à luz da teoria de Ausubel? Ausubel designa-as por *preconcepções* e considera-as como inibidoras da incorporação de conceitos científicos na estrutura cognitiva. Assim, para que a nova ideia (um conceito científico que se pretende que o aluno se aproprie) tenha um potencial significativo e se possa ancorar ao subsunçor, terá que haver algum grau de compatibilidade entre os dois. O subsunçor terá, já, que possuir algumas características, ainda que incompletas, que o aproximem do conceito científico. Assim, do ponto de vista epistemológico, a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel enquadra-se numa perspetiva de continuidade da evolução da Ciência; o avanço no conhecimento far-se-á por evolução e incorporação de novos conhecimentos nos já existentes, ao contrário da perspectiva de Bachelard e Kuhn, para quem o avanço significativo ocorre por rupturas e revoluções no conhecimento.

De acordo com o mecanismo cognitivo proposto por Ausubel, se as concepções alternativas são resistentes à mudança, é porque estão constituídas como subsunçores na estrutura cognitiva. Assim, como implicações para as práticas docentes, enquanto professores devemos evitar em sala de aula que uma concepção alternativa seja aprendida pelos alunos de forma significativa e transformada em subsunçor. Também é fundamental tentar identificar as concepções alternativas integradas na estrutura cognitiva dos alunos, a fim de se evitar que sejam reforçadas por ancoragem a outras concepções alternativas.

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel oferece-nos, portanto, um novo enquadramento para o entendimento e implicações das concepções alternativas nas práticas docentes em sala de aula.

2.1.3- O Movimento das Concepções Alternativas: origens e fundação.

A origem dos estudos sobre as concepções alternativas nas crianças remonta a 1929 com a publicação, por Piaget, do livro *The child's conception of the world*. A questão central colocada por Piaget (1977b) era a de saber "que concepções do mundo as crianças formam naturalmente nos seus diferentes estágios de desenvolvimento?" (p. 13). Nesta obra, Piaget questiona crianças e analisa as suas respostas acerca de fenómenos naturais tais como o Sol, o movimento da Lua, a origem da Água, das Árvores, das Montanhas e da Terra. Esta visão da psicologia cognitiva representou um avanço relativamente ao modelo tradicional de ensino conhecido por *Tabula Rasa* ou *Mente em Branco*, segundo o qual, um aluno não tem nenhum conhecimento sobre um determinado tópico antes de este lhe ser ensinado formalmente. A mente em branco do aluno deveria ser preenchida pela *Ciência do professor* (Gilbert, Osborne e Fensham, 1982). Com os trabalhos de Piaget, passou-se a reconhecer que as crianças detêm conceitos, ideias e explicações prévias sobre um novo tópico científico, antes de este lhes ser ensinado.

Apesar deste contributo da Psicologia cognitiva, até meados dos anos 70 do século passado a manifestação das concepções alternativas dos alunos ou foi ignorada, ou considerada de uma forma inadequada para o desenvolvimento do currículo de ciências (Fensham, 1980), já que as concepções alternativas quase sempre eram consideradas como concepções erradas. Grande parte da investigação em Educação efetuada até à época tinha como finalidade procurar qual o momento adequado do estádio de desenvolvimento ontogénico da criança, para então se introduzir o estudo de determinado tópico científico, bem como averiguar as melhores estratégias para o efeito. É a partir daquela década que surgem estudos sobre o insucesso do currículo de ciências baseado no pressuposto da existência de concepções alternativas e de que estas concepções podem permanecer inalteradas, mesmo após o ensino formal de ciências.

Outra situação que se constatou poder ocorrer após o ensino formal de ciências é a coexistência entre concepções alternativas e conceitos científicos. Gilbert, Osborne e Fensham (1982) referem que, não raras vezes, o sucesso na aprendizagem das ciências é apenas aparente e mascarado com o propósito da avaliação: "Alunos bem-sucedidos

usam a Ciência dos professores quando é necessário em testes e exames, mas ainda retêm a Ciência das crianças quando lidam com muitas situações do dia-a-dia" (p.624). Esta noção, de que no aluno podem coexistir concepções alternativas e conceitos científicos dos quais faz uso conforme as suas necessidades e também conveniência (num exame, por exemplo), também é defendida por Osborne, Bell e Gilbert (1983):

> As crianças muitas vezes interpretam incorretamente, modificam ou rejeitam o ponto de vista científico tal como lhes é apresentado. O ponto de vista científico pode ser regurgitado num exame mas não é a maneira como o aluno realmente pensa sobre o mundo. (p.4).

De acordo com Gilbert, Osborne e Fensham (1982), "o objetivo da educação em Ciência é a obtenção por parte do aluno de uma perspetiva científica coerente que ele entenda, aprecie e possa relacionar com o ambiente em que vive e trabalha" (p.630). A aprendizagem da Ciência, como toda a aprendizagem, envolverá sempre uma perceção pessoal e construção interna por parte do aluno. Assim, para se atingir a situação ideal a que se referem os autores, será necessário passar por algum grau de coexistência entre as concepções alternativas e a Ciência do professor para que estas sofram alguma modificação.

É a partir das evidências de que as concepções alternativas dos alunos trazem consequências para o sucesso ou insucesso do ensino e aprendizagem da Ciência que surgiu, nos anos 70 do século passado, um movimento pedagógico intitulado Movimento das Concepções Alternativas (MCA), que vem reposicionar o valor pedagógico destas concepções. Graças a este movimento, as concepções alternativas deixam de ser ignoradas e rejeitadas na prática pedagógica dos professores e passam a ser tidas em conta no currículo de ciências, tal como recomendam Osborne, Bell e Gilbert (1983):

> O ensino da Ciência, enquanto estiver preocupado em encorajar os alunos a tomarem consciência de, e possivelmente até adotarem, visões alternativas do mundo [os conceitos científicos] e significados para as palavras, precisa de construir ou confrontar essas visões com as concepções alternativas dos alunos e não, certamente, ignorá-las. (p.4)

Bem como Gilbert, Osborne e Fensham(1982):

> Para que o currículo de ciências tenha por base esta assunção [a coexistência entre as concepções alternativas dos alunos e os conceitos científicos], será necessário

> para nós [professores] aprender muito mais sobre a Ciência das Crianças: saber como explorá-la, aprender acerca da sua natureza e considerar as várias maneiras de as concepções alternativas poderem, ou não, ser modificadas pela aprendizagem. (p.624)

É este um dos principais legados do MCA: ao atribuir valor pedagógico às concepções alternativas na sala de aula, já não se ignora nem se trabalha contra estas, mas sim atendendo à sua existência.

Santos (1998) atribui a paternidade do MCA a Piaget e a Ausubel. Mas o marco para o início deste movimento pedagógico foi a publicação, em 1978, por Driver e Easley, do artigo *Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescente science students*. Neste artigo, pela primeira vez, é colocada em causa a adequação do currículo e das estratégias aos estádios de desenvolvimento da criança; os autores sugerem uma desadequação entre os níveis de raciocínio dos alunos e as competências exigidas pelo currículo. Partindo do princípio de que a compreensão dos conceitos científicos requer capacidades cognitivas (tais como a abstração, controlo de variáveis, utilização de razões e proporções), Driver e Easley (1978) argumentam que o currículo de ciências pode ser analisado em termos das capacidades conceptuais e operacionais que exige aos alunos. Os autores referem vários estudos em Educação que apontam no sentido de que o sucesso na aprendizagem das ciências não depende tanto dos estádios de desenvolvimento da criança como até então era assumido:

> Alguns estudos indicam que o sucesso em Ciência depende mais, em grande medida, de competências específicas e experiência anteriores do que dos níveis de funcionamento cognitivo. (…) Esta posição é suportada pelos resultados de vários estudos (…), indicando que o contexto e o conteúdo têm primazia sobre as características estruturais das situações que envolvem a resolução de problemas. Talvez isto sugira razões para sermos cautelosos na classificação dos alunos por estádios cognitivos para limitar ou prescrever o que eles devem aprender. (pp.66-67)

Driver e Easley deram o impulso inicial ao MCA. A partir de então, é aceite que o currículo e as estratégias não mais estão limitados pelos estádios de desenvolvimento dos alunos para se decidir o que, e como ensinar. Mas Driver e Easley (1978) não se limitaram a emancipar o currículo e as estratégias da Psicologia de Piaget, nem em fazer um inventário de concepções alternativas; os autores argumentam que esses estudos são insuficientes para o progresso no ensino das ciências, e apontam um novo caminho:

> O desenvolvimento de uma taxonomia de tais concepções alternativas não conduz a um maior poder interpretativo. Só quando as razões para essas concepções alternativas forem entendidas é que será feito progresso em termos instrucionais. Nos estudos sobre concepções alternativas aqui citados, os alunos foram expostos a modelos ou teorias formais e assimilaram-nos incorretamente. Nesses casos a teoria de Ausubel emerge como um dispositivo explanatório para interpretar este tipo de problema, no qual é sugerido que os alunos estão a relacionar novos conhecimentos com conhecimentos já existentes e estão a fazer conexões incorretas. (p.68)

Driver e Easley (1978) referem-se à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel como o novo caminho a seguir para o entendimento das concepções alternativas e as suas implicações para a Educação. As estratégias e o currículo devem atribuir maior importância aos conhecimentos prévios e às relações que os alunos estabelecem entre estes e os atuais e não, apenas, aos estádios de desenvolvimento do aluno para definir os conteúdos a lecionar. Enquanto Piaget atribuía maior importância aos conteúdos e às operações formais que estes exigem, Ausubel atribuiu importância às relações entre os conteúdos e às experiências anteriores dos alunos com esses conteúdos. Ou seja, Piaget preocupava-se com 'o que ensinar e em que estádio de desenvolvimento?' enquanto Ausubel se focava em 'como ensinar?'.

Convém, no entanto, não assumirmos posições extremas: nem as teorias de Ausubel e Piaget são antagónicas, apesar das diferenças entre elas, nem o MCA surgiu como um movimento anti Piaget. Driver (1983) é explícita quanto a isto:

> Onde o modelo de Piaget se debruça sobre o conteúdo das estruturas lógicas, Ausubel postula que o conhecimento está estruturado numa hierarquia de conceitos (…) a teoria de Piaget concentra-se nas operações lógicas que o aluno consegue realizar enquanto a teoria de Ausubel concentra-se na estruturação do conteúdo. É importante não ver estas teorias como mutuamente exclusivas. Para a concepção de materiais didáticos temos de considerar ambas as ideias componentes que estão a ser ensinadas e a forma como essas ideias se relacionam. Por exemplo, no ensino do conceito de densidade, poderemos ter necessidade de considerar a experiência anterior da criança relativamente às ideias componentes de massa e volume e relacionar o ensino com essas ideias. Mas também há que considerar a maneira como estas duas ideias componentes estão relacionadas num entendimento formal da densidade o que requer o raciocínio utilizando o conceito de proporcionalidade". (p. 58)

Deste modo, o que Driver salienta é que 'o quê?' e o 'como?' ensinar não devem ser dissociados; se por um lado há que atender às experiências anteriores dos alunos,

também tem que se dar atenção às exigências de raciocínio formal envolvidas na aprendizagem de determinado conteúdo.

Foi no âmbito do MCA, com este impulso inovador dado por Driver e Easley, que surgiu uma infinidade de estudos até à presente data. Tal como refere diSessa (2006), o MCA "explodiu em proeminência nos anos 80 dando origem a uma vasta literatura e esmoreceu a partir dos anos 90, embora a sua presença e influência ainda seja forte" (p.269). Duit (2009) apresenta-nos, numa revisão de investigação, uma lista de 8400 publicações de artigos, livros e comunicações, produzidos até Março de 2009. Uma análise destas publicações permite-nos distribuí-las por nove categorias: (1) investigações empíricas acerca das concepções alternativas dos alunos em diversos domínios do conhecimento (por exemplo Biologia, Geologia, Física, Química, Matemática, História, Economia), (2) características gerais das concepções alternativas, (3) metodologias para investigar as concepções alternativas; (4) linguagem e concepções alternativas, (5) concepções e estratégias gerais de raciocínio, (6) análise conceptual do conhecimento respeitante a vários domínios, (7) fundamentação epistemológica das concepções alternativas, (8) estudos teóricos e empíricos acerca do desenvolvimento conceptual, da mudança conceptual e das estratégias de ensino e (9) implicações das concepções alternativas para a Educação.

Feita esta distribuição, consideramos que a nossa dissertação se pode incluir na categoria oito, pois a principal finalidade do presente estudo é dar resposta à questão de investigação formulada pelo que será necessário promover a mudança conceptual relativa a conceitos de oxidação-redução, podendo também ser incluída parcialmente nos temas dois, sete, e nove, já que na revisão de literatura abordaremos as características gerais das concepções alternativas e sua fundamentação epistemológica, bem como as implicações destas concepções para o ensino das ciências.

Já numa versão anterior de revisão bibliográfica, Duit (1993) havia referido que, em cerca de duas décadas do MCA, estavam publicados 1400 trabalhos. Uma comparação entre as duas versões, a de 1993 e a de 2009 permite-nos uma visão geral de quão profícuo continua a ser o MCA: no período compreendido entre aquelas datas, menos de duas décadas, temos 7000 publicações referenciadas no âmbito daquele movimento pedagógico, o que contraria a opinião sobre o esmorecimento do MCA a partir dos anos 90 de diSessa (2006).

Grande parte das publicações referidas resultou de projetos de investigação em Educação tais como o *The Children's Learning in Science Project*, iniciado em 1983 na

Universidade de Leeds, Inglaterra, sob supervisão de Rosalind Driver. Este projeto investigou as concepções alternativas de alunos que frequentavam as escolas secundárias em vários temas relacionados com a Física, a Química e a Biologia; as investigações realizadas vieram a ser publicadas em muitos artigos em revistas de Educação e em duas obras que se tornaram referências fundamentais (Driver, Guesne e Tiberghien, 1985; Driver, Squires, Rushworth e Wood-Robinson, 2006). Ainda em Inglaterra, concomitantemente, surgiu um outro projeto, o *Primary Science Processes and Concept Exploration*, desenvolvido pela Universidade de Liverpool, em que foram investigadas as ideias dos alunos do primeiro ciclo do ensino básico e sugeridas ações de intervenção no ensino de conceitos chave relacionados com temas tais como "a Terra no espaço, eletricidade, evaporação e condensação, crescimento, luz, materiais e som" (Taber, 2009a, p.118). Na mesma época, na Nova Zelândia, foi desenvolvido o *Learning in Science Project*, com estudos publicados acerca de concepções alternativas abordando temas relacionados com a Física (força, movimento e eletricidade), Química (estrutura atómica da matéria e mudança de estados físicos), Biologia (animais e conceito de vida) e, ainda, estratégias para lidar com as concepções dos alunos em sala de aula (Osborne e Freyberg, 1985).

Um dos projetos de investigação sobre concepções alternativas do início do século XXI foi lançado pela Royal Society of Chemistry, na Inglaterra em 2000. Consideramos este projeto como uma obra de referência para o presente estudo, não só pela identificação e fundamentação de concepções alternativas, mas também pelas inúmeras propostas de atividades e materiais didáticos desenvolvidos para as desafiar. O objetivo é identificar e estudar as concepções alternativas dos alunos em Química e desenvolver materiais didáticos para os professores usarem em sala de aula a fim de desafiarem essas concepções. Keith Taber foi o principal rosto deste projeto, tendo publicado os resultados da sua investigação numa obra em dois volumes: *Chemical misconceptions- prevention, diagnosis and cure* (Taber, 2002a, 2002b).

Publicado pela National Science Teachers Association, foi desenvolvido, desde 2005, nos Estados Unidos da América, um trabalho constituído por vários volumes e genericamente intitulado *Uncovering Student Ideas*. Até à presente data, que se tenha conhecimento, estão publicados 13 volumes desta obra (veja-se, por exemplo, Keeley e Harrington, 2010), que apresentam um conjunto de testes e atividades designadas, originalmente, por *Formative Assessment Probes*, destinadas a diagnosticar e a desafiar

as concepções alternativas relativas a conceitos de Biologia, Geologia, Física, Química, Astronomia e Matemática.

Decorrente ainda do MCA, são inúmeros os modelos de mudança conceptual que surgiram a partir da década de 80, alguns dos quais vamos analisar na seção seguinte deste capítulo.

Em síntese, a partir da literatura revista, ressalta-nos que a investigação desenvolvida no âmbito do MCA continua ativa e dela continuam a emanar estudos atuais e recomendações relativas à problemática das concepções alternativas e da mudança conceptual em sala de aula.

2.1.4- Características gerais das concepções alternativas

Perante o conjunto de investigações no âmbito do MCA, resultou na comunidade científica um consenso quanto às características comuns às diferentes concepções alternativas (Leite, 1993; Valadares, 1995; Santos, 1998), que se enumeram a seguir:

1- Natureza eminentemente pessoal. As concepções alternativas são ideias e representações que cada indivíduo faz acerca do mundo que o rodeia e que lhe são próprias.

2- Homogeneidade e universalidade. Não obstante o carácter pessoal das concepções alternativas, também se verifica que muitos alunos com experiências de aprendizagem diversas e contextos sociais e nacionais diferentes, revelam concepções semelhantes ao interpretarem os mesmos fenómenos. Tal deve-se às estruturas cognitivas envolvidas na aprendizagem serem as mesmas em todos os estudantes.

3- Natureza estruturada e coerente. As concepções alternativas são, inicialmente, construídas de uma forma espontânea para dar significado aos fenómenos. São simples e isoladas, numa fase inicial, mas, progressivamente, vão-se tornando mais gerais e complexas à medida que o aluno acumula vivências nas quais as utiliza. As concepções alternativas constituem-se, assim, como um conjunto de conhecimentos organizados e solidários, de modo a formarem modelos representacionais, seguindo a natureza humana para organizar e estruturar toda a informação que recebe.

4- São persistentes, resistem à mudança. Pelo facto de estarem fortemente ancoradas na estrutura cognitiva, as concepções alternativas são difíceis de superar, mesmo após muitos anos de ensino formal.
5- Paralelismo com modelos históricos da Ciência. A ideia de uma analogia entre as concepções históricas, já ultrapassadas, e as ideias dos alunos foi estudada por Piaget. Os resultados que conhecemos dessa sua investigação constam de uma obra, escrita com o físico Rolando Garcia, intitulada *Psicogénese e História das Ciências* (Piaget e Garcia, 2011). Piaget e Garcia referem-se a uma semelhança existente entre a evolução da Física aristotélica e os quatro estádios de desenvolvimento da criança que designam por *etapas da psicogénese*. Essa semelhança justifica-se pela observação e experimentação ingénuas e acríticas que as crianças fazem do mundo que as rodeia, tal como o fazia o Homem antes da Ciência moderna.

Esta última característica das concepções alternativas é claramente identificada na obra de Piaget e Garcia (2011), podendo nela ler-se que o objetivo é "procurar saber se os mecanismos de passagem de um período histórico ao seguinte, no contexto de um sistema nocional, são análogos aos da passagem de um estádio genético aos seus sucessores"(p.13). Os autores advogam, por exemplo, que as explicações dadas pelas crianças sobre o movimento são semelhantes às da época de Aristóteles.

Também Novak (1993) estabelece o paralelismo entre o processo individual de aquisição de conhecimento e o processo coletivo de avanço da Ciência: "o processo psicológico pelo qual um indivíduo constrói os seus próprios significados é essencialmente o mesmo que o processo epistemológico através do qual o conhecimento novo é construído pelos profissionais das diversas disciplinas" (p. 168).

Assumido este paralelismo, Wandersee (1985) realizou um estudo empírico sobre as concepções dos alunos acerca da fotossíntese. Como resultado do seu estudo, Wandersee concluiu que existe uma relação entre as concepções dos alunos acerca da fotossíntese e as concepções que sobre este assunto existiram ao longo da História; concluiu, também, que alunos mais jovens, do primeiro ciclo do ensino básico (cinco a oito anos de idade), detêm concepções semelhantes às existentes na Antiguidade Clássica (de Anaxímenes de Mileto e Aristóteles), enquanto alunos mais velhos (11-14 anos) apresentam conceitos mais próximos dos existentes no século XVIII. Este estudo empírico é consentâneo com a teoria de Piaget, apontando para um paralelismo entre a crescente complexidade dos conceitos no aluno e a que ocorreu ao longo da História.

Voltaremos a este estudo de Wandersee para analisarmos as suas implicações na promoção da mudança conceptual. Por ora, importa realçar que o paralelismo entre as concepções alternativas e os modelos históricos da Ciência, já ultrapassados, trazem fortes elações para as práticas docentes na sala de aula: o conhecimento da História da Ciência constitui-se, pois, como uma ferramenta pedagógica de grande utilidade para a identificação e compreensão, e mesmo a antecipação de muitas das concepções alternativas reveladas pelos alunos.

2.1.5- O diagnóstico das concepções alternativas: o professor como médico

A identificação das concepções alternativas dos alunos constitui-se como o primeiro passo para promover a mudança conceptual em sala de aula. Taber (2005) designa essa identificação por *diagnóstico*, numa clara analogia com a atividade profissional dos médicos e cujo objetivo é:

> Encorajar os professores (e alunos) a verem o ensino como um processo contínuo, no qual o professor é sensível e responde às indicações de como o ensino progride. A analogia com uma outra profissão respeitada e familiar é potencialmente frutífera: uma comparação que os professores rapidamente percebem e apreciam. (p.226)

A analogia é clara: tal como o médico deverá diagnosticar, nos seus pacientes, as doenças de que padecem e procurar as suas causas, também o professor deverá diagnosticar as concepções alternativas dos seus alunos e o que as fundamenta. A mudança conceptual, será o tratamento a implementar.

Impõe-se, pois, tomarmos uma posição ética para não encararmos a comparação *concepção alternativa/doença* de uma forma pejorativa, mas sim de mente aberta. As concepções alternativas têm o valor pedagógico a que já aludimos e, dadas as suas características, que decorrem da natureza da cognição humana, não devem ser tratadas com repreensão nem repulsa. Ajudar os alunos a ultrapassar as suas concepções alternativas não será, eventualmente, uma tarefa fácil para o professor e exigirá tempo. Contudo, os ganhos de aprendizagem obtidos serão recompensadores. Moore et al. (1997, p. 31) apresentam várias sugestões gerais para lidar com as concepções alternativas em sala de aula:

- Antecipar as concepções alternativas acerca do tópico que se vai lecionar e estar alerta para outras;

- Encorajar os alunos a confrontar as suas concepções com outros alunos e com as evidências;
- Pensar acerca de como confrontar as concepções alternativas mais comuns com demonstrações e trabalho de laboratório;
- Revisitar com frequência as concepções alternativas mais comuns;
- Avaliar e reavaliar as concepções dos alunos de acordo com a literatura.

Taber (2002a, p. 62) acrescenta, ainda, mais algumas sugestões:

- Despender algum tempo para se sentar com os alunos, individualmente ou em pequenos grupos e explorar as suas ideias num contexto não-ameaçador;
- Desenvolver uma abordagem que encoraje os alunos a discutir e criticar as suas próprias ideias:
- Desenvolver técnicas inquiridoras (perguntas) em sala de aula que explorem as interpretações dos alunos de uma forma mais profunda em vez de apenas avaliar as respostas dos alunos, classificando-as como corretas ou incorretas.

Os primeiros instrumentos de diagnóstico das concepções alternativas a serem utilizados foram as entrevistas individuais. Piaget fez delas amplo uso nas suas investigações acerca da "Ciência das Crianças". Reconhecemos, contudo, que embora sejam muito úteis em investigação em Educação, as entrevistas individuais poderão enfrentar fortes limitações de administração em sala de aula.

Pedir aos alunos para efetuarem desenhos ou interpretações desses desenhos também são formas úteis de diagnóstico das concepções alternativas. Naylor e Keogh (2000) propuseram uma forma de diagnóstico baseado em bandas desenhadas conceptuais, nas quais, personagens diferentes apresentam pontos de vista alternativos às situações em estudo. Estas bandas desenhadas têm algumas vantagens: reportam-se a problemas diários, mas numa perspetiva científica (a ênfase é dada a situações que plausivelmente ocorrem na vida dos alunos, em vez de teorias), a quantidade de texto é mínima, apresentam concepções alternativas baseadas na investigação, as alternativas são apresentadas com igual estatuto; ou seja, nenhum elemento gráfico privilegia uma alternativa (as expressões faciais das personagens são semelhantes e o texto tem o mesmo tamanho). A figura 1 apresenta-nos um exemplo de uma banda desenhada conceptual relativa a conceitos de oxidação-redução. Nesta figura, podemos observar que apenas a personagem à esquerda manifesta um conceito cientificamente válido; das ideias manifestadas pelas restantes personagens, sobressaem concepções alternativas.

Implementadas em sala de aula, bandas desenhadas conceptuais como a que se acabou de referir poderão ser ferramentas visuais com fortes potencialidades para o ensino e aprendizagem das ciências, pois permitem perscrutar o pensamento dos alunos sobre os temas em estudo, de uma forma apelativa e não ameaçadora. Podem-se adotar algumas variantes, como por exemplo, questionar por escrito "E tu, o que pensas?" ou deixar os "balões" de algumas personagens em branco para os alunos preencherem.

Figura 1. Exemplo de uma banda desenhada conceptual

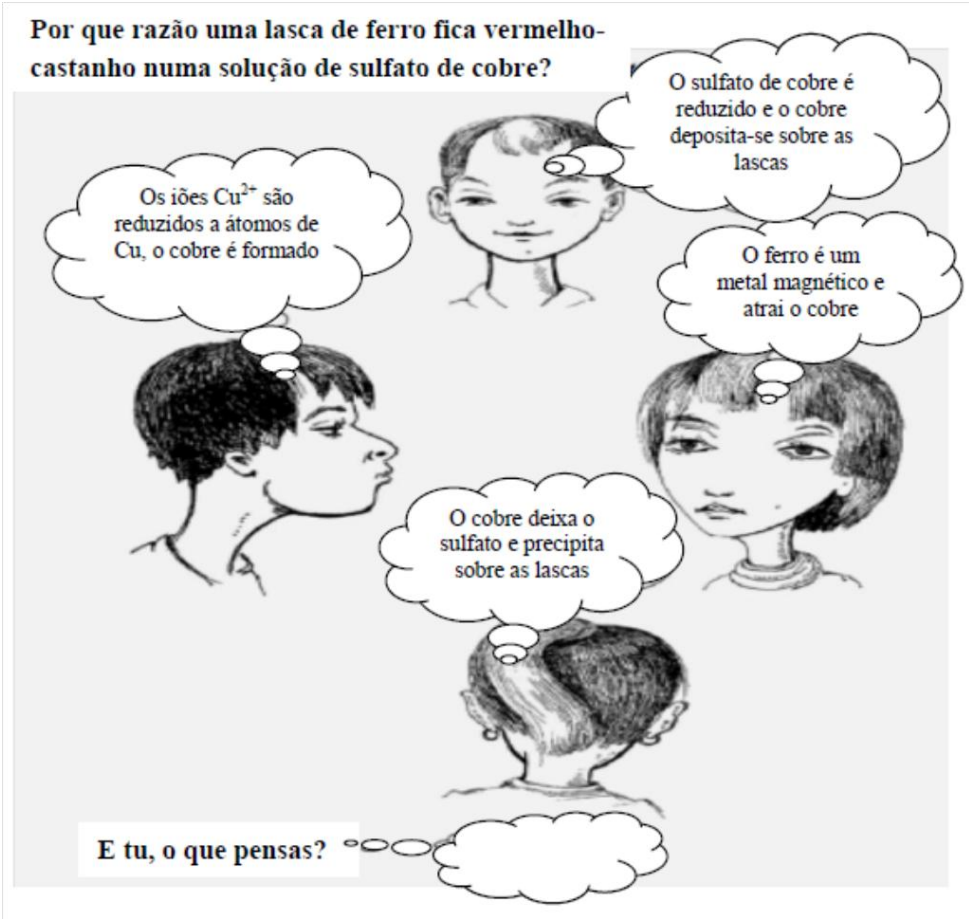


Figura 1. Banda desenhada conceptual sobre o tema oxidação e redução. Retirado de "Misconceptions in Chemistry" por H-D. Barke, A. Hazari e S. Yitbarek, 2009, p.206, Berlim: Springer

No entanto, as formas mais correntes de diagnóstico de concepções alternativas encontradas na literatura para a sala de aula são os "testes de diagnóstico" ou "testes conceptuais", de que é exemplo o "Two Tier Test" (teste TTT), um dos primeiros a ser desenvolvido (Peterson, Treagust e Garnett, 1986) e que serviu de inspiração aos testes

atuais, de que é exemplo o teste designado por *Chemistry Concepts Inventory* de Mulford e Robinson (2002).

O teste TTT é um teste com cerca de 15 itens e em que cada item é composto por duas questões. Para a primeira questão, o aluno tem duas ou mais respostas que pode selecionar. Na segunda questão, pede-se ao aluno para justificar essa resposta através da seleção de uma, de entre várias justificações dadas. As várias alternativas contêm, para além da resposta certa, várias respostas incorretas e entre estas, as concepções alternativas documentadas na literatura. A figura 2 mostra-nos um exemplo de um item de um teste TTT.

Figura 2. Exemplo de um item de um teste TTT

Item 1
Qual das seguintes opções, melhor representa a posição do par de eletrões partilhado na molécula de HF?

Justificação:

a) Os eletrões não ligantes influenciam a posição da ligação ou do par de eletrões partilhado.
b) Tal como o hidrogénio e o flúor da ligação covalente, o par de eletrões partilhado deve ocupar uma posição central.
c) O flúor exerce sobre o par de eletrões partilhado, uma força de atração mais forte.
d) O flúor é o maior dos dois átomos e portanto, exerce um maior controlo sobre o par de eletrões partilhado

Figura 2. Exemplo de um item de um teste TTT relativo às ligações químicas. Adaptado de "Identification of secondary students' misconceptions of covalent bonding and structure concepts using a diagnostic instrument" por R. Peterson, D. Treagust e P.Garnett, 1986, Research in Science Educatuion, 16, p. 42.

Esse teste foi implementado com o objetivo de identificar concepções alternativas relativas ao tema Ligação Química. No item da figura 2, a combinação de respostas a que correspondem conceitos cientificamente válidos é 1c; a opção pelas respostas 2b é

revelador da concepção alternativa "ocorre uma igual partilha do par de eletrões em todas as ligações covalentes" (Peterson, Treagust e Garnett, 1986, p.44); qualquer outra combinação de respostas, corresponde a conceitos errados dos alunos não passíveis de serem classificados nem como conceitos científicos, nem como concepções alternativas. Na tabela 1, que se apresenta a seguir, sumarizam-se alguns dos testes TTT que foram desenvolvidos e publicados na literatura até 2005, nos domínios da Física e da Química. Os testes TTT serviram de inspiração para a concepção e elaboração do pré e pós teste aplicado neste estudo, com o objetivo de diagnosticar as concepções alternativas dos alunos relacionadas com conceitos de oxidação-redução.

Tabela 1

Testes TTT desenvolvidos desde os anos 80 em temas relacionados com a Física e Química.

Tópico/Conceito	***Ano***
Ligação covalente e estrutura da matéria	1989
Eletromagnetismo	1991
Luz e as suas propriedades	1992
Forças	1992
Força, calor, luz e eletricidade	1992
Ligação covalente	1999
Ligação química	1999
Equilíbrio químico	1999
Circuitos elétricos	2001
Ácidos e bases	2001/2002
Estados da matéria	2002
Análise qualitativa	2002
Formação de imagens num espelho plano	2002
Representações múltiplas nas reações químicas	2005
Energia de ionização dos elementos	2005

Nota. Adaptado de "Diagnostic assessment in science as a means to improving teaching, learning and retention" por D. Treagust, 2006, UniServe Science Assessment Symposium Prodeedings. p. 4.

Para além dos testes TTT, foram desenvolvidos outros testes que incluem questões de resposta aberta; veja-se por exemplo o teste de Lewis e Linn (1994) para a identificação de concepções alternativas relativas aos conceitos *calor, temperatura e*

energia e o de Schmidt, Marohn e Harrison (2007) relativo a conceitos de *eletroquímica*.

Outro instrumento de diagnóstico das concepções alternativas amplamente referido na literatura são os mapas conceptuais, ou mapas de conceitos. Trata-se de organizadores gráficos utilizados e desenhados para representar conhecimento, tendo sido inicialmente desenvolvidos por Joseph Novak e a sua equipa em 1972 (Novak, 1990, 2004) e publicados por Novak e Gowin em 1984 numa obra intitulada *Aprender a aprender*. Menos de duas décadas depois da ideia original, já estavam publicados cerca de 100 estudos e investigações (Al-Kunifed e Wandersee, 1990) e desde então, os mapas conceptuais têm sido usados para representar conhecimento nos mais variados domínios, incluindo Matemática, Dança, Poesia, Desporto e História, entre outros.

Os mapas conceptuais incluem, normalmente, conceitos dentro de pequenas caixas ou círculos e relações entre eles, indicadas por linhas de conexão que os interligam. As palavras escritas sobre as linhas de conexão especificam as relações entre esses conceitos. A principal vantagem de tais mapas é a de favorecer e fomentar a aprendizagem significativa, em detrimento da aprendizagem memorista. Por conseguinte, uma vez que a aprendizagem significativa se produz mais facilmente quando os novos conceitos são englobados e relacionados com conceitos mais amplos, os mapas conceptuais devem ser hierarquizados; isto é, os conceitos mais gerais e mais abrangentes devem situar-se no topo do mapa, e os conceitos cada vez mais específicos, colocados sucessivamente debaixo daqueles, indiciando uma subordinação ao conceito geral. Os mapas conceptuais são, portanto, reveladores da estrutura conceptual do seu autor ou autores, já que, segundo Moreira e Buchweitz (2000):

> A sua forma e representação [dos mapas conceptuais] dependem dos conceitos e das relações incluídas, de como os conceitos são representados, relacionados e diferenciados e do critério usado para organizá-los (…) são diagramas hierárquicos indicando os conceitos e as relações entre esses conceitos (…) procuram reflectir a organização dos conceitos de uma disciplina, ou parte de uma disciplina, de um livro, de um artigo, de uma experiência laboratorial, da estrutura cognitiva de um indivíduo sobre um dado assunto, de uma obra ou de uma outra fonte ou área de conhecimentos qualquer. (p. 13)

Para além de evidenciar a estrutura conceptual, existem outras vantagens da utilização de mapas conceptuais referidas na literatura. Por exemplo, Taber (2002a, p.41) considera que os mapas conceptuais podem revelar quais as ideias chave que estão presentes ou em falta, as concepções alternativas dos alunos, se o estudante integrou

corretamente as ideias no tópico em estudo e a extensão com que os alunos relacionam os conceitos. No domínio da Química, Goh e Chia (1986) e Feldsine (1987) apresentam-nos exemplos contextualizados da utilização de mapas conceptuais para a identificação de concepções alternativas dos alunos em diversos temas, tais como as reações de oxidação-redução e a lei dos gases ideais. Também podemos encontrar trabalhos semelhantes mais recentes; veja-se por exemplo, DeMeo (2007), que nos apresenta mapas conceptuais sobre as reações ácido-base.

A figura 3, mostra-nos um exemplo de como um mapa conceptual pode revelar e reforçar concepções alternativas nos alunos. Trata-se de parte de um mapa conceptual retirado de um manual escolar que pretende exemplificar diferentes tipos de reações químicas. Nele, a oxidação é dada como um exemplo de reação química e podemos observar a concepção alternativa que consiste em associar a oxidação a uma reação que ocorre com a presença obrigatória de oxigénio, quando o conceito *reação de oxidação-redução* foi alargado e, atualmente, inclui reações sem a presença de oxigénio. Deste modo, seria uma opção mais acertada explicitar que esta definição é apenas um exemplo de reação de oxidação. Também sabemos, atualmente, que as reações de oxidação e de redução ocorrem em simultâneo. Ao mencionar apenas as oxidações, este mapa conceptual induz no aluno (e evidencia ele próprio) a concepção alternativa de não simultaneidade entre a ocorrência de reações de oxidação e redução. Constata-se, assim, que os manuais escolares também podem ser veículos de concepções alternativas como já o haviam demonstrado Sanger e Greenbowe (1999) que identificaram tais concepções relativas ao tema *eletroquímica* em manuais escolares. Mais uma vez, fica reforçada a necessidade de os professores conhecerem e estarem alerta para essas concepções.

Por outro lado, os mapas conceptuais podem funcionar como potenciais promotores da mudança conceptual. Veja-se, por exemplo, Wallace e Mintzes (1990), que nos apresentam um estudo empírico sobre a utilização de mapas conceptuais como veículos para a documentação e exploração da mudança conceptual em Biologia. Novak e Gowin (1996) referem, ainda, a utilidade dos mapas como resumos e sínteses:

> Um mapa conceptual também pode funcionar como um mapa rodoviário visual, mostrando alguns dos trajectos que se podem seguir para ligar os significados de conceitos (…). Depois de terminada uma tarefa de aprendizagem, os mapas conceptuais mostram um resumo esquemático do que foi aprendido. (p.31).

Assim, um mapa conceptual poderá ser particularmente útil para concluir e resumir um determinado tópico com uma visão abrangente e oferece uma forma de reforço sem cair na redundância.

Figura 3. Mapa conceptual e concepções alternativas

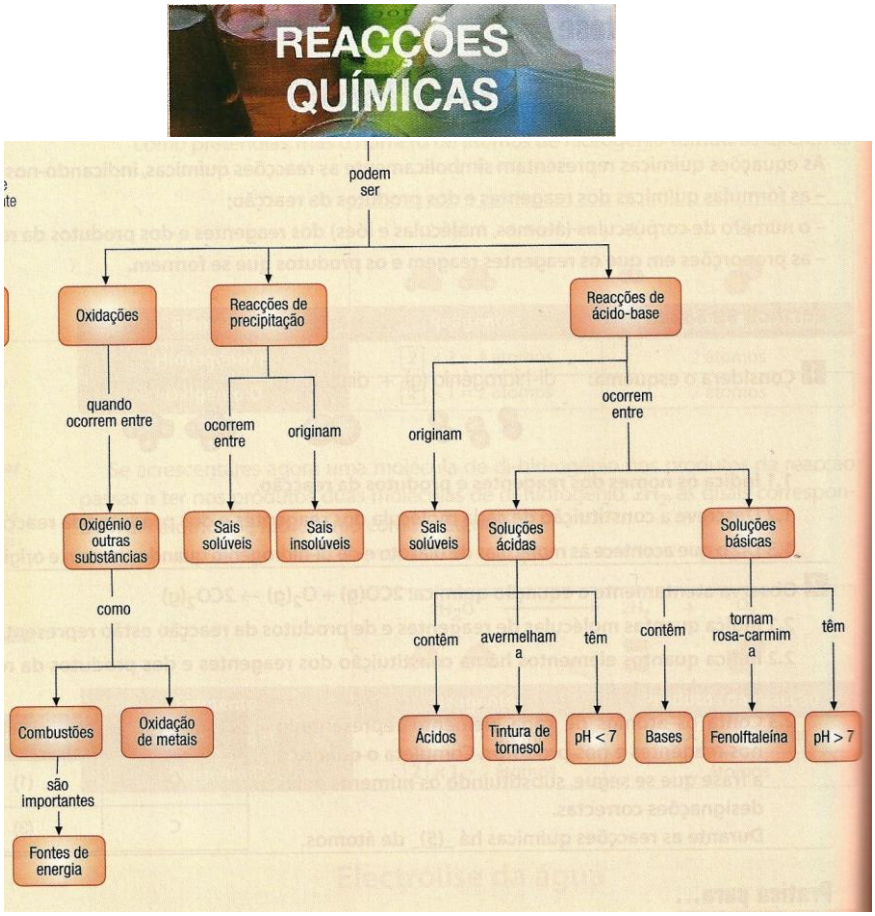


Figura 3. Mapa conceptual sobre reações químicas que evidencia concepções alternativas relacionadas com as reações de oxidação-redução. Retirado de "FQ8 Sustentabilidade na Terra" por M.N. Cavaleiro e M.D. Beleza, 2011, Ciências Físico-Químicas 8º ano 3º Ciclo do Ensino Básico, p.158, Lisboa, Edições Asa.

Novak (1990) refere, ainda, outras vantagens da utilização dos mapas conceptuais: esta ferramenta poderá ajudar os professores a que as suas abordagens às suas próprias aprendizagens se aproximem de práticas mais significativas e menos mecânicas; nas suas práticas pedagógicas os professores procurarão a "transparência conceptual" de determinado tópico, isto é, darão maior ênfase aos significados dos

conceitos chave (e suas inter-relações) de maneira a que os seus alunos consigam formar um entendimento conceptual sobre esse tópico. De facto, parece-nos que só um professor que consiga aprender significativamente poderá ter sucesso na promoção da aprendizagem significativa dos seus alunos.

Apesar das inúmeras vantagens acabadas de mencionar, diversas investigações mostram que, nas primeiras abordagens em sala de aula, quer professores, quer alunos, apresentam alguma resistência à utilização de mapas conceptuais (Francisco et al., 2002). Tal resistência deve-se, segundo os autores, ao facto de os alunos serem, com frequência, treinados algoritmicamente e não conceptualmente. Da mesma forma, os professores ensinam algoritmicamente e numericamente. Por conseguinte, quer nuns, quer noutros, o uso de um método de instrução conceptual, não tradicional, requer a superação de resistências internas.

A construção de mapas conceptuais requer alguma prática e deverá seguir os seguintes procedimentos de acordo com Novak (2000, pp. 227-228):

a) Selecionar conceitos chave;
b) Identificar outros conceitos relacionados;
c) Hierarquizar todos os conceitos, desde o mais geral até ao mais específico;
d) Ligar todos os conceitos com linhas ou setas;
e) Nas linhas escrever conexões lógicas que revelem as relações entre os conceitos.

Quando usados corretamente, os mapas conceptuais "desafiam os alunos a pensarem de uma forma mais profunda" (Francisco et al., 2002, p.256). Segundo estes autores, no estudo que desenvolveram sobre a utilização de mapas conceptuais em sala de aula, os comentários dos alunos "indicavam que os mapas conceptuais eram um desafio a completar em termos de conhecimentos necessários, mas também motivador quando combinado com informação ao nível molecular [relativo a conceitos químicos] " (p.256). Os mapas conceptuais requerem que os alunos utilizem capacidades consideradas essenciais à aprendizagem: a revisão de apontamentos, procura e pesquisa de informação, resumir e concluir, decidir e simplificar relações.

É provável que alguns alunos já conheçam os mapas conceptuais apresentados em manuais escolares mas, para outros, será algo de novo. Contudo, é expectável que os alunos dificilmente consigam lidar com as exigências de uma nova maneira de representar a informação, pelo que é necessário alguma familiarização com esta nova

ferramenta. Taber (2002a, p.41) sugere várias abordagens na utilização de mapas conceptuais em sala de aula:

1) O professor pode usar e apresentar os seus próprios mapas conceptuais (ou outros, de outros professores, livros ou artigos) durante algum tempo antes de solicitar aos alunos que produzam os seus próprios mapas;
2) Inicialmente, pode-se solicitar aos alunos que produzam mapas conceptuais sobre temas à sua escolha em que o foco é dado à técnica e não ao conteúdo;
3) O professor pode pedir aos alunos que sugiram alterações a um mapa conceptual apresentado no quadro/ecrã do projetor, antes de lhes solicitar que produzam mapas individuais ou em grupo;
4) Os alunos podem desenvolver tarefas estruturadas a partir de mapas conceptuais, parcialmente preparados e incompletos, antes de os produzir a partir de esboços.

Esta última abordagem poderá apresentar muitas variantes de aplicação frutífera. Taber (2002a) e Regis e Albertazzi (2004) apresentam-nos exemplos contextualizados de mapas conceptuais incompletos a serem trabalhados pelos alunos. Num destes exemplos, é fornecido um número fixo de conceitos-chave e cada aluno constrói o seu próprio mapa, usando apenas os termos dados, escolhendo as ligações e estabelecendo as relações entre os conceitos que acharem mais adequados. Em alternativa, poderá ser fornecido um mapa já construído, com as ligações entre os conceitos já elaboradas, mas em que as relações entre os conceitos que deveriam ser escritas nas linhas de ligação estão identificadas apenas por números; cabendo aos alunos especificar as relações entre os conceitos que acharem adequadas.

Regis e Albertazzi (2004) referem que, em média, são necessárias quatro a seis aulas (de 45 minutos cada) para os alunos aprenderem a construir mapas conceptuais. Novak (2004) refere que, apesar das dificuldades e resistências iniciais, "nunca encontrei uma pessoa que não conseguisse construir um bom mapa conceptual após algum tempo de instrução, prática e feedback construtivo apropriados" (p.1305) e o tempo necessário para tal, segundo Novak, é cerca de três a quatro semanas.

Dada a sua enorme versatilidade, a utilização de mapas conceptuais ultrapassou as intenções iniciais com que foram criados, de apoio à aprendizagem e avaliação, sendo também utilizados para o diagnóstico de dificuldades e de concepções alternativas dos alunos, para promoverem a mudança conceptual, apoiar a planificação de aulas e do currículo, bem como para a autorregulação do professor.

Feita esta breve revisão sobre instrumentos de diagnóstico de concepções alternativas, consideramos importante sublinhar, tal como Taber (2002a, p.62) refere, que o instrumento de diagnóstico mais importante das concepções alternativas é a sensibilidade do professor. Não poderíamos estar mais de acordo com Taber e acrescentamos, ainda, que o professor proficiente conseguirá criar um ambiente de sala de aula que poupa o aluno ao embaraço das suas concepções alternativas e não compromete a sua participação voluntária na mudança conceptual necessária.

2.1.6- A complexidade da aprendizagem da Química

A complexidade do ensino e aprendizagem da Química tem sido objeto de estudo há já algum tempo. Uma das explicações mais abrangentes para as dificuldades sentidas pelos alunos na aprendizagem da Química é-nos oferecida por Johnstone (1993, 2000, 2006). Segundo este autor, a aprendizagem da Química ocorre a três níveis conceptuais:

a) O nível *Macro*, a que corresponde a realidade macroscópica em que os alunos adquirem a maior parte das suas experiências através da perceção;
b) O nível *Sub-Micro*, que diz respeito aos átomos, moléculas, iões e eletrões;
c) O nível representacional, que inclui a simbologia e convenções usadas na Química, tais como as fórmulas, equações e cálculos.

A representação gráfica destes três níveis ficou conhecida na literatura por *Triângulo de Johnstone*, tal como mostra a figura 4, em que cada vértice do triângulo corresponde a um dos níveis conceptuais acabados de mencionar.

O Triângulo de Johnstone é semi-quantitativo. Podemos imaginar uma aula em que determinado conceito está a ser abordado apenas ao nível Macro a que corresponde o vértice superior. Se a determinada altura, o professor introduzir uma experiência interpretada por uma equação química, estamos a mover-nos ao longo do lado direito do triângulo em direção ao vértice inferior direito, cuja aproximação dependerá da ênfase dada ao nível representacional. Eventualmente, poderá ocorrer uma mistura dos três níveis conceptuais representada por um ponto no interior do triângulo, cuja posição é determinada pela proporção relativa de cada um dos três níveis.

O professor movimenta-se facilmente de um nível para outro, fruto da sua experiência, formação académica e maturidade intelectual; todavia, nem sempre tem consciência das exigências cognitivas que essa movimentação conceptual acarreta para os seus alunos. Johnstone (2006) questiona-se:

Figura 4. O Triângulo de Johnstone

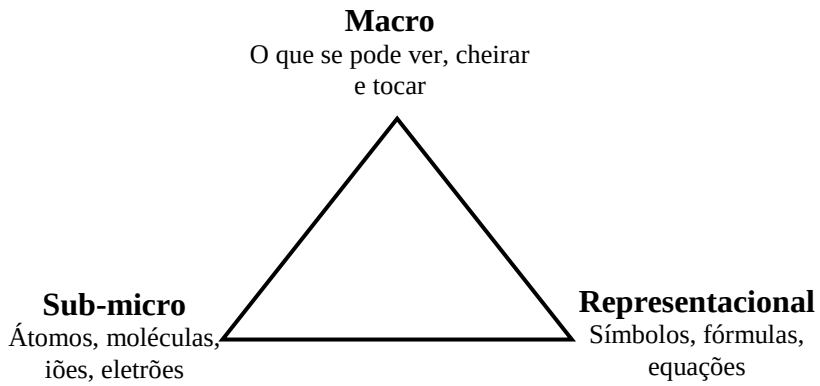


Figura 4. O Triângulo de Johnstone que representa os três níveis conceptuais a que ocorre a aprendizagem da Química. Adaptado de "Chemical education research in Glasgow in perspective", por A. H. Johnstone, 2006, *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), p. 59.

> Nós, professores e outros químicos, movimentamo-nos em redor e no interior do triângulo com facilidade, o que nos dá uma forma poderosa de pensarmos sobre a nossa disciplina, mas poderão os nossos alunos seguir-nos dentro do triângulo sem uma sobrecarga de informação ou uma racionalização que leva às concepções alternativas? (p.59)

O autor coloca a hipótese de muitas das concepções alternativas se deverem à dificuldade dos alunos em se movimentarem simultaneamente entre os três níveis conceptuais e inclusivé, de mudarem de um nível para outro. Esta situação reflete a grande complexidade e dificuldades na aprendizagem da Química. De facto, muitas das observações nesta disciplina são feitas ao nível macroscópico, cujas explicações e justificações assentam no nível atómico e molecular e são representadas simbolicamente, para melhor serem comunicadas e partilhadas. Ponderar e balancear estes níveis é algo que não está ao alcance do aluno principiante. Johnstone (2000) reforça estas ideias ao afirmar que "é uma insensatez psicológica introduzir os alunos em conceitos aos três níveis em simultâneo. Aqui reside a origem de muitas concepções alternativas. O químico profissional consegue manter os três níveis em equilíbrio, mas não o aluno" (p.9). Johnstone deixa algumas recomendações metodológicas para o ensino e o desenvolvimento do currículo da Química: apesar de o nível representacional servir, frequentemente, de mediador entre os níveis *Macro* e *Sub-micro* (Taber, 2009b),

o ensino de um novo conceito ou tópico deve começar por uma abordagem a apenas um nível- o nível *Macro*, não porque este nível seja o mais importante, pois como afirma Johnstone (2000), "nenhum nível é superior a outro, mas cada um complementa o outro" (p.11). A opção pelo início ao nível *Macro* justifica-se porque o aluno encontra-se, compreensivelmente, no nível das perceções sensoriais, pelo que Johnstone recomenda aos professores: "comece onde o aluno está" (p.12). Segue-se, depois, um segundo nível (*Sub-micro* ou *representacional*) ao longo de um dos lados do triângulo, e só mais tarde, professores e alunos, deverão avançar para o seu interior. O autor apresenta alguns exemplos em que aplica a sua proposta metodológica no ensino de conceitos tais como a mole, a geometria molecular, as reações de neutralização e o equilíbrio químico.

Desejando-se atenuar as dificuldades de aprendizagem, o ensino das reações de oxidação-redução pode ser abordado com base neste quadro conceptual.

2.1.7- Evolução histórica dos conceitos de oxidação e redução

Muitas das concepções alternativas relativas aos conceitos de oxidação e redução decorrem da indiferenciação entre as explicações fornecidas, ao longo da História da Química, segundo três modelos interpretativos distintos: o do oxigénio, o da transferência de eletrões e o do número de oxidação. Daí, o interesse em fazermos, nesta secção, uma breve resenha histórica. Como afirmou Ostwald (1896) citado por Ertl (2009), "para mim, a experiência recorrente quer como investigador, quer como professor, mostrou-me que não existe forma mais eficaz para esclarecer e consolidar um problema do que penetrar nos seus antecedentes históricos" (p.6604). Sigamos, pois, a sugestão de Ostwald.

2.1.7.1- O modelo do oxigénio

Os primeiros passos para uma explicação das reações químicas de combustão e as suas implicações na metalurgia foram dados por Stahl, químico alemão, que no final do século XVII propôs a teoria do flogístico ou flogisto. Segundo Stahl, para que um material ardesse, deveria conter uma substância inflamável chamada "flogisto" que se perderia para o ar durante a combustão. Por exemplo, substâncias não combustíveis (sais) tinham pouco flogisto, enquanto aquelas que ardem facilmente, tinham muito flogisto. O enferrujamento do ferro ocorre porque este elemento perderia o seu flogisto para o ar; o ferro enferrujado poderia ser convertido em ferro metálico por adição de

mais flogisto (com aquecimento a carvão, que conteria o flogisto). A natureza da substância *flogisto* não estava bem esclarecida, pelo que era considerada uma substância misteriosa, invisível, imaterial, uma força vital algo espiritual; por exemplo, dizia-se que as cinzas tinham menor massa do que a madeira que lhe dera origem, porque esta perderia a sua força vital durante o processo de combustão. A teoria do flogisto foi geralmente aceite até ao fim do século XVIII porque apresentava uma primeira explicação dos fenómenos químicos. Explicava a perda de massa na combustão de um material (por perda de flogisto), a impossibilidade de um material combustível arder sem a presença de ar (porque o ar é necessário para absorver o flogisto libertado), o fim de uma combustão e a morte de um animal num recipiente fechado (ambos devido à saturação do ar com flogisto). O flogisto era, pois, o estado da arte da Química do século XVIII.

Na segunda metade daquele século, as investigações em Química orientavam-se maioritariamente para o estudo dos gases, os constituintes do ar e sua separação- um ramo da Química que então era conhecido por *Química Pneumática*. Joseph Priestley (1733-1804), clérigo e professor inglês, rival e contemporâneo de Lavoisier (1743-1794), descobriu e isolou vários constituintes do ar. A 1 de Agosto de 1774, Priestley usou uma lente para focar raios solares no óxido de mercúrio numa tina pneumática e produziu um *ar* que, segundo ele próprio descreveu, citado por Miller (1987), "o que mais me surpreendeu foi que uma vela ardia neste ar com uma chama notavelmente vigorosa" (p.746). Priestley também descobriu que um rato vivia mais tempo num recipiente fechado que continha este *ar* do que com o ar normal. A explicação que deu para estas observações foi de que o *novo ar* era mais deficiente em flogisto, podia absorver mais flogisto de modo que o rato vivia mais tempo e a vela ardia com uma chama mais brilhante. Priestley chamou a esse *ar*, "ar deflogisticado" e, sendo um químico conservador, tentou interpretar todo o seu trabalho à luz da teoria do flogisto. Neste mesmo ano de 1774, Lavoisier, baseando-se na descoberta do ar deflogisticado, designá-lo-ia por *oxigénio*. Neste sentido, Priestley terá ajudado a lançar uma revolução que nunca entendeu inteiramente e rejeitou. Acerca do trabalho de Lavoisier, mostrou-se crítico e cético:

> O senhor Lavoisier e a maioria dos químicos franceses são da opinião de que não existe um tal princípio, ou substância, como o flogisto; os metais e outros corpos inflamáveis são simples substâncias, que têm uma afinidade para com o ar puro e que a combustão consiste não na separação de qualquer coisa da substância

> inflamável, mas na sua união com o ar puro. (Priestley, 1794, citado por Berg, 2011, pp.816,817)

Lavoisier argumentava que a explicação flogística parecia vacilar quando se considerava o aquecimento do mercúrio no ar, porque este poderia ser recuperado como metal simplesmente, aquecendo o seu óxido no ar. Isto não acontecia com outros metais em que, para serem recuperados dos respetivos óxidos, tinham de ser aquecidos com ar e carvão. Lavoisier explicava que o ar se combinava com o mercúrio para produzir o seu óxido e este, perdia um componente do ar quando aquecido para produzir o metal. Se no mercúrio, como noutros metais, o flogisto era supostamente removido por aquecimento para produzir o óxido, como poderia o óxido ser reconvertido novamente a metal sem a adição de uma substância rica em flogisto – o carvão?

Estamos, pois, perante um evento dissonante, daqueles que despoletam o conflito cognitivo e induzem, potencialmente, a mudança conceptual. Como reagiu Priestley a estes elementos contraditórios? Vejamos:

> É o único caso em que uma *cal*[1] é revivida sem a ajuda de alguma substância flogística conhecida; e neste caso particular não é absurdo supor, que o mercúrio, ao tornar-se precipitado *per se*, pode reter todo o seu flogisto, bem como absorver o ar puro e, por conseguinte, ser revivido simplesmente separando-se desse ar. (Priestley, 1794, citado por Berg, 2011, pp.816,817).

E Priestley conclui, referindo-se à hipótese colocada por Lavoisier, que esta é "desnecessária, sendo a antiga hipótese [o flogisto] suficiente para o efeito" (*p.817*). Ainda em tom de desdém, Priestley dirige-se diretamente aos químicos franceses fazendo uma previsão: "a vossa revolução política[2] será mais estável do que esta revolução química" (Priestley, citado por Schwartz, 2007, p.1111). Haveria de errar quanto a ambas as revoluções.

A Priestley faltou apenas um pequeno 'clic' para ultrapassar as suas concepções; contudo, esta mudança conceptual seria suficientemente forte para provocar um desenraizamento cultural e mesmo, religioso. Schofield (1997) apresenta-nos, ainda, uma outra razão, do ponto de vista metodológico, para justificar o não abandono da teoria do flogisto por Priestley ao referir-se ao seu trabalho sobre a eletricidade: "revela uma deficiência, em Priestley, que enfraquecia os seus feitos científicos durante toda a sua vida. Não tinha qualquer apreço pelos valores essenciais

[1] *Cal* era a designação atribuída aos óxidos metálicos. (Traduzido da palavra inglesa "calx").
[2] Priestley referia-se à revolução francesa que estava a decorrer e da qual era fervoroso apoiante.

dos estudos matemáticos e quantitativos em Ciência. A sua inclinação foi sempre em direção à experimentação qualitativa" (p.148). Priestley era, essencialmente, um experimentalista e observador meticuloso; nisso, fazia jus ao novo método científico mas, nas suas investigações, faltava-lhe essa característica própria da Ciência pós-Galileu, a matematização da realidade, a análise quantitativa suportada pelo rigor da medição. Lavoisier não descuidaria tal faceta e, consequentemente, trouxe a Química para uma nova Era.

Como poderemos, então, posicionar Priestley relativamente ao modelo do oxigénio? Apoiava ferverosamente a teoria do flogisto mas, afinal, foi ele o descobridor do oxigénio, ainda que lhe tenha dado um outro nome. Schofield (2004), ao comparar Priestley com Lavoisier, sugere-nos que "Priestley difere de Lavoisier, não porque apoiava a teoria química desacreditada do flogisto de Georg Stahl, mas porque defendia a sua incoerente coleção de explicações flogísticas para um número de fenómenos que Stahl nunca considerou" (p.193). Schofield refere que Priestley recolheu um grande conjunto de observações e que, certamente muitas destas, contradiziam Stahl, mas que Priestley reinterpretou de modo a encaixá-las na teoria do flogisto. Fara (2010) questiona se Priestley terá sido um "doutor flogisto", ou um "reverenciado oxigénio", o que reforça a dificuldade em posicioná-lo face às duas teorias. As reinterpretações de eventos contraditórios feitas por Priestley constituem aquilo a que Kunh denomina "teorias provisórias", que seriam tentativas de salvar um antigo paradigma num momento de crise. Diz-nos Kuhn (2009):

> Durante as crises que levam a mudanças de grande escala no paradigma, os cientistas desenvolvem habitualmente muitas teorias especulativas e pouco desenvolvidas que podem por si mesmas apontar o caminho da descoberta. Porém essa descoberta não é muitas vezes aquela que é antecipada por essas mesmas teorias especulativas e provisórias. Só na medida em que as experiências científicas e as teorias provisórias se vão desenvolvendo em conjunto até haver entre elas correspondência é que a descoberta emerge e a teoria se torna um paradigma. (p.94).

A coleção de eventos dissonantes de Priestley, a sua reinterpretação à luz da teoria do flogisto e a sua rejeição das hipóteses de Lavoiser, colocaram-no numa espécie de 'limbo' entre dois paradigmas (o de Stahl e o de Lavoisier), sem, contudo, pertencer por inteiro a nenhum dos dois. Como também refere Kuhn (2009), descobrir algo de novo "implica reconhecer simultaneamente que algo é e o que esse algo é" (p.87). Ora

Priestley descobriu, efetivamente, algo de novo- o ar deflogisticado- mas não conseguiu estabelecer o seu verdadeiro significado e implicações.

Foi, pois, com Lavoisier que ocorreu a correspondência entre as experiências científicas e as teorias provisórias a que se refere Kuhn, e que um novo paradigma emergiu. Lavoisier superou a teoria do flogisto, mas não sem antes com ela se confrontar e constatar as suas deficiências ainda na fase juvenil da sua vida, enquanto estudante de Química. Lavoisier, citado por Bell (2007), refere-se com desilusão e amargura ao seu estudo inicial da Química:

> Fiquei surpreendido por ver como tanta obscuridade envolvia as abordagens à Ciência. Durante as primeiras etapas, começam por supor ao invés de provar. (…) Andei a estudar quatro anos uma Ciência que se fundamentava apenas nuns quantos factos, que esta Ciência se compunha de ideias absolutamente incoerentes e suposições não comprovadas, que não tinha um método de ensino e que era intangível pela lógica da Ciência. Foi nessa altura que compreendi que tinha de começar o estudo da Química todo de novo. (p.43,45).

Estas críticas de Lavoisier devem-se, principalmente, à abordagem que Stahl fazia à experimentação em Química, vestígio, ainda, da antiga alquimia: o laboratório tinha pouca relevância e a prática servia apenas para ilustrar e comprovar a teoria, e não para descobrir algo de novo. Lavoisier tinha uma característica fundamental para uma bem-sucedida revolução no domínio da Química: a constante preocupação e rigor com as medições e a quantificação; de tal forma, que Asimov (1965) refere-se ao trabalho de Lavoisier como "o triunfo da medição". Não foi sem intenção que recrutou para seu assistente um matemático jovem e promissor, Laplace. A sua considerável fortuna pessoal permitiu-lhe construir, ao longo da vida, um laboratório equipado com os melhores equipamentos de medição da época, principalmente, balanças. As suas inúmeras experiências e medições rigorosas levaram-no a enunciar, em 1785, aquele que ficou conhecido por *Princípio da Conservação da Massa*, que foi determinante para vencer a teoria do flogisto. Tal como afirmou Asimov (1969): "se a lei da conservação da massa não se mantivesse firme não haveria nenhum instrumento acutilante com o qual atacar o flogisto" (p.145). Vejamos, então, como é que esse princípio contesta a teoria de Stahl que advogava que os metais, quando aquecidos para formarem *cales* (óxidos), libertavam ou perdiam o flogisto e, por conseguinte, era de prever que pesassem menos.

> Posso afirmar a partir das minhas próprias experiências que durante a combustão, o enxofre absorve ar; que [a substância] formada é muito mais pesada do que o enxofre; que o seu peso é igual ao peso do enxofre e do ar absorvido. Esta descoberta, que estabeleci através de experiências que considero decisivas, fez-me pensar que o que é observado na combustão do enxofre e do fósforo pode ocorrer em todos os corpos que ganham peso por combustão e calcinação, e estou convencido que o aumento de peso nos metais calcinados tem a mesma causa. A experimentação confirmou as minhas conjeturas. Realizei a redução do Litargírio [Óxido de Chumbo] em vasos fechados (…) e observei que no momento em que a cal [o óxido] passa a metal, uma quantidade considerável de ar, pelo menos mil vezes maior que a quantidade de Litargírio utilizado, foi libertado. Esta parece-me a descoberta mais interessante desde o tempo de Stahl. (Lavoisier, 1785, citado por Partington, 1961a, p.385)

Lavoisier confirmou experimentalmente que as *cales* resultantes pesavam mais do que os metais que entravam na sua formação. O aumento de massa de uma substância que, supostamente, tinha perdido flogisto violava o princípio da conservação da massa. A inconsistência era evidente e Lavoisier concluiu:

> Resulta obviamente destes resultados, 1º que uma cal metálica nada mais é do que o próprio metal combinado com o ar, 2º que a redução metálica consiste apenas na libertação de ar das cales metálicas, 3º que os metais devem o peso ganho ao ar contido na atmosfera. (Lavoisier citado por Bell, 2007, p.95)

Por esta altura, já Lavoisier tinha conhecimento dos trabalhos de Priestley, que o havia visitado durante uma estadia em Paris e realizou a experiência da vela brilhante. Ao ar deflogisticado de Priestley, que era absorvido pelos metais e libertado pelas suas *cales* durante a calcinação, Lavoisier deu o nome de *oxigénio* - das palavras gregas *oxi*, que significa *ácido* e *geno*, que significa *gerar*. Esta associação deve-se ao facto de Lavoisier ter constatado que muitos ácidos contêm aquele gás. Lavoisier elaborou toda uma nova teoria da combustão mas, também, uma nova nomenclatura química, que ainda hoje usamos. Ler um livro de Química escrito antes de Lavoisier é um exercício penoso que requer uma constante identificação e correspondência entre nomenclaturas, sob pena de o texto se tornar incompreensível, tal como é feito por Schofield (1997, 2004). Às *cales* metálicas, Lavoisier atribuiu o nome de óxidos, e o termo *oxidação* passou a identificar a absorção ou captação do oxigénio por uma qualquer substância; o contrário, a libertação de oxigénio, passaria a ser designado por *redução*.

Lavoisier tinha consciência que a sua Teoria da Combustão era incompatível com a de Stahl. Em 1783, nas suas memórias, intituladas "Reflexões sobre o flogisto", pode ler-se:

> O meu único objetivo nestas memórias tem sido apresentar os novos desenvolvimentos da teoria da combustão que eu publiquei em 1777 e mostrar que o flogisto de Stahl é uma coisa imaginária cuja existência tem sido graciosamente suposta nos metais, enxofre, fósforo e todos os corpos combustíveis; que todo o fenómeno da combustão e calcinação pode ser explicado de uma maneira muito mais simples e fácil sem o flogisto do que com ele. (Lavoisier, 1783, citado por Leicester e Klickstein, 1952, p.173)

A acumulação de evidências experimentais e a continuação e aceitação, por reputados cientistas, do trabalho de Lavoisier após a sua trágica morte em 1794 fizeram com que, nos primeiros anos do século XIX, a teoria do flogisto fosse abandonada. Apenas Priestley se manteve fiel até ao fim e o flogisto terá, porventura, 'morrido' com ele em 1804. Como afirmou Soloveichik (1962), "era correto ser um flogístico em 1774 mas, sê-lo em 1803, era um ultraje" (p.645).

2.1.7.2- O modelo de transferência de eletrões.

Falar de reações de oxidação-redução é falar de eletroquímica e das propriedades elétricas da matéria. Galvani, médico italiano do século XVIII, terá sido o percursor no estudo dessas propriedades da matéria quando, em 1750, fez percorrer uma corrente elétrica no corpo de rãs mortas e verificou que as suas pernas se moviam. Na mesma época, Volta, um físico italiano, intrigado com a experiência de Galvani, veio defender que a eletricidade não teria origem biológica tendo construído, em 1800, um aparelho que produzia uma corrente elétrica, sempre que um fio condutor era ligado aos discos de zinco e cobre das suas extremidades, que ficou conhecido como *pilha de Volta*.

No mesmo ano de 1800, William Nicholson e Carlisle, químicos e físicos ingleses, construíram a pilha de Volta e com esta realizaram, pela primeira vez, a eletrólise da água. Faraday, nesta mesma época, estudou este fenómeno do ponto de vista quantitativo e foi ele que lhe atribuiu a designação de *eletrólise*, tendo introduzido outros termos ainda hoje utilizados: *eletrólito*, *ânodo*, *cátodo* e *elétrodo*. Foi a eletrólise da água, separando os seus constituintes, oxigénio e hidrogénio, gases já então conhecidos, o fenómeno que 'desferiu o golpe final' na teoria do flogisto, já que esta considerava a água como uma substância pura, elementar e indivisível.

Em 1803, foi proposta por Dalton uma das teorias que maior repercussão teve nos domínios da Física e da Química – a teoria atómica- ao considerar que toda a

matéria seria constituída por corpúsculos, que renomeou de *átomos,* termo que remonta à Grécia Antiga (Brock, 2000). Da revisão de literatura sobre História da Química que fizemos, a primeira referência que encontrámos quanto à interpretação das reações de oxidação-redução do ponto de vista da teoria atómica e, tendo em consideração as propriedades elétricas da matéria, reporta-se ao químico alemão Theodor von Grotthuss (Moore, 1918; Partington, 1961b; Idhe, 1984; Jaselkis, Moore e von Smolink, 2007).

Grotthuss propôs, em 1805, uma teoria que explicava a eletrólise e a condutividade da água numa altura em que se pensava que as suas moléculas eram constituídas, cada uma, por um átomo de hidrogénio e um átomo de oxigénio. Esta teoria ficou conhecida por *mecanismo de Grotthuss* (figura 5) e ainda hoje é utilizado, embora numa versão mais moderna. O mecanismo original estabelecia que, durante a eletrólise da água, as suas moléculas adjacentes aos elétrodos ficariam polarizadas e dividir-se-iam em átomos de oxigénio carregados negativamente e em átomos de hidrogénio carregados positivamente. Por um processo de oxidação do átomo de hidrogénio de uma molécula de água, a carga elétrica seria transferida para o átomo de hidrogénio na molécula adjacente, que então se separaria desta. A carga elétrica negativa do átomo de oxigénio seria transferida na direção oposta. A repetição deste mecanismo entre moléculas adjacentes permitiria a condução elétrica nas soluções aquosas. Este mecanismo foi o primeiro a tentar explicar a eletrólise da água com base na teoria atómica de Dalton. Foi, também, o primeiro a relacionar a oxidação com a transferência de cargas elétricas entre átomos de oxigénio e de hidrogénio em solução.

Em 1843, Alexander R. Arrott, químico inglês, efetuou várias experiências com células eletrolíticas. Quaisquer que fossem os elétrodos e os eletrólitos utilizados, Arrot citado por Partington (1961b), concluiu que "qualquer rearranjo consistia num corpo oxidante e noutro corpo redutor, e a mudança em todos os casos é sempre a mesma; o corpo oxidante é reduzido e o corpo redutor é oxidado" (p.697). Para além de relacionar a oxidação e a redução com a natureza elétrica da matéria, Arrott reconheceu que ocorreriam duas reações simultâneas nos elétrodos: num, ocorreria a oxidação e no outro, a redução.

O trabalho de Grotthuss também foi ampliado pelo químico sueco Berzelius que, em 1813, desenvolveu uma influente teoria que haveria de perdurar até ao início do século XX e que ficou conhecida por *teoria dualista* (Moore, 1918; Hall, 1929; Leicester e Klickstein, 1952; Idhe, 1984; Greenberg, 2007).

Figura 5. O mecanismo de Grotthuss

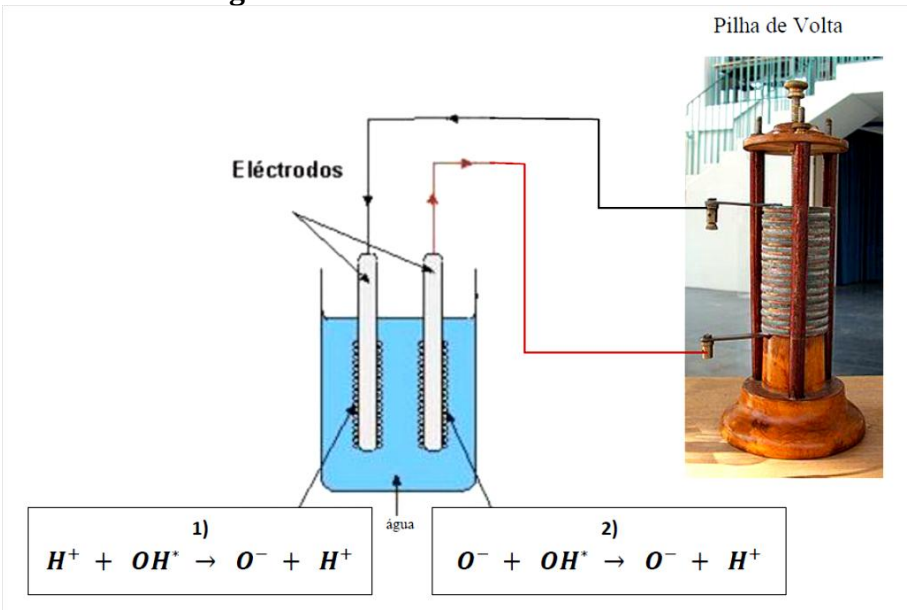


Figura 5. O mecanismo de Grotthuss que explica a eletrólise da água. Em 1) o átomo de hidrogénio carregado positivamente, num dos elétrodos, transfere a carga para o átomo de H da molécula de água, OH, adjacente (representado por *) que se separa dessa molécula. Em 2) o átomo de oxigénio carregado negativamente, no outro elétrodo, transfere a carga para o átomo de O da molécula de água adjacente separando-se dela. Os iões não eram conhecidos na altura pelo que os símbolos + e – afetados aos átomos não devem ser entendidos com o significado que têm atualmente (iões positivos e negativos).

A teoria de Berzelius dividia os elementos químicos conhecidos em dois grupos, os *eletropositivos* e os *eletronegativos*, de acordo com a carga elétrica que exibiam em contacto uns com os outros. A diferença entre as cargas elétricas, positivas e negativas, daria origem às reações químicas e a intensidade das cargas elétricas, determinaria o grau de afinidade entre os átomos. Berzelius estabeleceu uma tabela de elementos químicos ordenados desde o mais eletronegativo, o oxigénio, até ao mais eletropositivo, o hidrogénio. Foi uma das primeiras tentativas de sistematizar a relação entre as propriedades químicas e elétricas dos elementos. As reações químicas resultavam da neutralização mútua das cargas elétricas opostas; todavia, o composto formado poderia não ser eletricamente neutro, dado que as cargas elétricas que se combinavam poderiam não ser iguais em intensidade, de acordo com a sua posição na tabela. Veja-se o exemplo mencionado na figura 6. Do exemplo mostrado nesta figura, constatamos que para Berzelius, os óxidos formados poderiam não ser eletricamente neutros devido à

diferente intensidade das cargas elétricas e assim, existiriam óxidos positivos e óxidos negativos; os ácidos seriam óxidos negativos e as bases, óxidos positivos (Hall, 1929). Por outro lado, escrever equações químicas de acordo com a teoria dualista poderia ser um processo moroso já que, para cada reação, teríamos de 'andar para trás', ou seja, escrever as reações parciais de síntese de cada reagente e somá-las todas, para obtermos a reação global com os produtos pretendidos. Apesar da complexidade, a teoria dualista de Berzelius manteve-se até ao início do século XX.

Figura 6. Exemplo de uma reação química de acordo com a teoria dualista de Berzelius

$\overset{+}{Cu} + \overset{-}{O} \rightarrow CuO$ (levemente positivo)

$\overset{+}{S} + 3\overset{-}{O} \rightarrow SO_3$ (levemente negativo)

Os óxidos formados não são neutros e podem combinar-se:

$\overset{+}{CuO} + \overset{-}{SO_3} \rightarrow CuO{\bullet}SO_3$ (atualmente $CuSO_4$)

Figura 6. Um exemplo de uma reação química de acordo com a teoria dualista de Berzelius. Adaptado de "The development of modern Chemistry", por A. J. Idhe, 1984, p.132, New York, USA, Dover Publications Inc.

No final do século XIX, em 1895, o físico inglês Thomson conseguiu distinguir pequenas partículas subatómicas carregadas negativamente, que emanavam de um tubo catódico durante experiências de descargas elétricas em gases. O conceito de *oxidação-redução* passou, então, a ser relacionado não só com a teoria atómica da matéria mas também com a sua natureza elétrica. A essas partículas com carga elétrica negativa, Thomson atribuiu o nome de *eletrões*. Poucos anos mais tarde, em 1904, Thomson desenvolveu o modelo do *pudim de passas* do átomo e em 1907, propôs a primeira teoria elétrica de valência. Esta assume que as ligações químicas se devem à atração eletrostática entre iões de carga elétrica contrária, iões esses que seriam formados pela transferência de eletrões entre átomos adjacentes – temos aqui uma primeira definição do que hoje consideramos ser a *ligação iónica*. Foi neste contexto que Wilhelm Ostwald, químico alemão, deu o seu contributo para o entendimento das reações de

oxidação-reação. Em 1893, Ostwald esclarecia o conceito de *oxidação-redução* da seguinte forma: "Fundamentalmente, os processos de oxidação e redução em eletrólitos consistiam na aquisição ou libertação de cargas iónicas; oxidantes são as substâncias que adquirem cargas negativas ou libertam cargas positivas, redutores são aquelas em que ocorre o oposto". (Ostwald, 1893, citado por Jensen, 2007, p. 2). Após a descoberta do eletrão, Ostwald foi o primeiro, em 1903 (Brescia et al., 1980, p. 182), a aplicar o conceito *transferência de eletrões* às reações de oxidação-redução: a *oxidação* ocorre sempre por um processo de cedência de eletrões por uma espécie química e a *redução*, ocorre por um processo de captação de eletrões.

Os modelos atómicos de Rutherford, em 1911 e de Bohr, em 1913, vieram permitir um melhor entendimento da relação entre eletrões, átomos e iões, bem como uma clarificação do seu papel nas reações químicas: cada átomo possui um determinado número de eletrões de valência e, durante uma reação química, esses eletrões podem ser transferidos entre átomos de forma a adquirirem uma maior estabilidade. Estes conceitos foram explicados por Walther Kossel, físico alemão que em 1913 publicou uma teoria sobre a ligação iónica.

Segundo Kossel, todas as reações químicas ocorriam devido à formação de compostos iónicos. Todos os átomos e iões tenderiam a adquirir uma estrutura eletrónica estável semelhante à dos gases nobres, com oito eletrões de valência. Relativamente às reações de oxidação-redução, em termos do modelo da transferência de eletrões, o átomo mais eletronegativo na ligação iónica seria reduzido devido à captação de eletrões e o átomo menos eletronegativo, seria oxidado por cedência de eletrões.

O modelo de transferência de eletrões foi bem aceite e tornou-se popular. Vejamos um testemunho que consideramos revelador da implantação deste modelo no sistema de ensino norte-americano. Segundo Brinkley (1925):

> A aplicação das assunções da teoria [da transferência de eletrões] oferece-nos um método muito mais simples e lógico no estudo de todas as reações que envolvem mudanças de valências do que os métodos que estão atualmente em uso [os da teoria dualista de Berzelius]. Quando interpretadas à luz desta teoria, todas as reações envolvem o mesmo tipo de alterações, porque as mudanças nas valências devem-se a transferência de um ou mais eletrões de um átomo para outro. A partir deste ponto de vista as reações (…) são todas do mesmo tipo. Aqueles de nós que durante anos temos usado o "método das equações por etapas" [da teoria dualista de Berzelius] para deduzir as equações que representam reações de oxidação-redução complicadas, poderão achar, no início o método eletrónico difícil. Temos um tal hábito de pensamento que a menção à oxidação faz com que pensemos

> instantaneamente em *oxigénio nascente*. (…) Então assumimos vários produtos intermediários e chegamos finalmente à única equação que interessa, a que representa os produtos atuais, através da soma de equações parciais e cancelando aquelas substâncias que são comuns a ambos os lados da equação. A mudança deste ponto de vista envolve quebrar este treino de pensamento e substituí-lo por um novo método. (p. 576, 577)

Este testemunho revela-nos que, no ensino das reações de oxidação-redução nos Estados Unidos da América, no início do século XX, ainda vigorava o método de Berzelius. O autor descreve-o enquanto defende, simultaneamente, a mudança para o modelo da transferência de eletrões, referindo que pode ser aplicado a todas as reações que envolvem alterações na valência dos átomos e que esse modelo apenas poderá ser considerado difícil devido aos hábitos de pensamento enraizados na teoria dualista. Quatro anos mais tarde, o autor ainda critica, nos professores, o velho hábito de pensar em oxigénio perante a mera referência à palavra *oxidação*. Tal como afirma Brinkley (1929):

> É tempo de os professores de Química elementar abandonarem por completo essa falsa ênfase no papel do oxigénio na oxidação e de pararem de basear a definição de um fenómeno geral num caso especial, que é tão limitado nas suas aplicações. (p.1895)

Ao longo do século XX, o ensino do modelo de transferência de eletrões foi amplamente disseminado. Os professores consideraram-no mais fácil de ensinar, como nos reporta Hall (1944), que refere que "podia colocar o novo método nas mentes dos seus alunos principiantes em muito menos tempo do que o laborioso procedimento dualista." (p.404).

Em suma, o alcance mais importante da identificação da oxidação e redução com o mecanismo da transferência de eletrões foi permitir a interpretação e explicação de muitas outras reações químicas, para além das que envolvem oxigénio, como reações de oxidação-redução, algo que o modelo do oxigénio de Lavoisier não abrangia. No que se relaciona com as reações de oxidação-redução, na literatura consultada não percecionámos a espetacularidade revolucionária que se afigura no modelo do oxigénio. Talvez a justificação desta nossa perceção resida no facto de a revolução de Lavoisier ter decorrido em pouco mais de 20 anos, enquanto o modelo da transferência de eletrões ter sido desenvolvido ao longo de mais de 100 anos. Com efeito, numa época em que as maiores controvérsias científicas eram focadas nas teorias atómicas, as reações de oxidação-redução eram-lhes, porventura, acessórias. Assim, no que se refere à

compreensão das reações de oxidação-redução, apercebemo-nos de uma progressiva evolução de teorias, em que cada geração de cientistas acrescentou e melhorou as teorias precedentes à medida que ocorreram os avanços científicos. Colocando-nos numa perspetiva kuhniana, podemos constatar que os progressos se desenvolveram num período de Ciência normal em que o produto final, neste caso o modelo de transferência de eletrões, se revelou completamente diferente dos modelos anteriores e com maior poder explicativo, incomensurável até na linguagem, pois certamente que tanto a Priestley, como a Lavoisier, pareceriam incompreensíveis conceitos como *iões*, *eletrões*, *eletrólise*, entre outros.

2.1.7.3- O modelo do número de oxidação

À medida que se foram acumulando crescentes evidências quanto à natureza da ligação química, em especial, a constatação de que nem todas as substâncias se comportariam como iões, o modelo da transferência de eletrões começou a ser colocado em causa. Vanderwerf, Davidson e Sisler (1945) referem que:

> Até 1925, talvez devido à contínua influência das ideias de Thomson, que assumiu que todas as forças de valência resultariam da completa transferência de eletrões; todas as ligações interatómicas, mesmo em compostos orgânicos, eram ainda geralmente consideradas com natureza vagamente polar; por conseguinte a valência era vista como sendo definitivamente positiva ou definitivamente negativa. (p.451)

As primeiras objeções ao modelo de transferência de eletrões vieram da área da química orgânica, que trabalha com frequência com compostos que, de forma intrigante na altura, escapavam ao dualismo de Berzelius, isto é, as suas cargas elétricas pareciam não ser definitivamente positivas, nem negativas. Já em 1916, Lewis, químico norte-americano, afirmou que "as teorias eletroquímicas de Berzelius foram ensombradas pela teoria da valência quando a atenção dos químicos se desviou para as substâncias não polares da química orgânica" (p.781). Vanderwerf, Davidson e Sisler (1945) sintetizam esta controvérsia ao afirmarem que "todas as situações claras de completa transferência de eletrões numa reação química, são reações de oxidação-redução"(p. 451) mas concluem "é, contudo, obviamente uma falácia concluir que todas as reações de oxidação-redução ocorrem com transferência de eletrões" (p.451). Gregg (1945) relata-nos que esta problemática também é visível ao referir as dificuldades de alunos de Química quando iniciam o estudo da química orgânica:

> O reconhecimento da oxidação como perda de eletrões e da redução como ganho de eletrões é tão básico, e tão rapidamente entendido, que os estudantes médios têm pouca dificuldade em compreenderem os fundamentos dos processos de oxidação e de redução durante os seus cursos de química geral. Contudo, quando o estudante começa o seu estudo da química orgânica constata que poucos textos colocam qualquer ênfase em explicações do processo de oxidação e de redução quando é aplicado às reações dos compostos de carbono. (p.548)

Gregg refere-nos que, em 1945, quando os manuais e textos de química orgânica tratavam a oxidação ou redução de compostos de carbono, evitavam a referência ao modelo de transferência de eletrões; algo que os alunos achavam incongruente, pois era o modelo em voga e que eles haviam aprendido. Já no final do século XX, Anselme (1997), professor de química orgânica, refere as dificuldades dos seus alunos em entenderem as reações de oxidação-redução, dado o seu enraizamento no modelo de transferência de eletrões:

> Vários anos a ensinar química orgânica ao nível introdutório tornou óbvio que a compreensão da oxidação-redução pode ser uma experiência difícil e por vezes traumática para os estudantes. O domínio de conceitos e definições de oxidação como perda, e de redução como ganho de eletrões é relativamente simples e confortável. Contudo, a consciencialização que a aplicação deste conhecimento não é intuitivamente transferível para a química orgânica pode ser muito desconcertante e muitas vezes frustrante para o estudante principiante. (p.69)

Shibley et al. (2007) vão mesmo ao ponto de referir que, ao iniciarem o estudo da química orgânica, os alunos, com frequência, não reconhecem as reações de oxidação-redução que se lhes apresentam no âmbito daquela área da química. Para compreendermos melhor esta problemática e o evento dissonante que levou ao surgimento do modelo do número de oxidação, vamos continuar a analisar a evolução da teoria atómica, tão resumidamente quanto possível.

Em 1916, Lewis propôs uma nova forma de entendimento das ligações químicas: as ligações ocorreriam por partilha de pares de eletrões de valência entre átomos adjacentes. Cada eletrão do par partilhado poderia provir de um dos átomos. Assim, na ligação química, cada átomo deveria ficar rodeado por oito eletrões, o que lhe confere a máxima estabilidade (obedecendo à regra do octeto, exceto o hidrogénio que ficaria com dois eletrões). Mas entendamo-nos quanto ao conceito *partilha*, que na linguagem comum tem diferentes significados. Neste caso, *partilha de pares de eletrões* significa uma ‘gestão comum’ por parte de dois átomos, ambos estão na posse desses

eletrões. Todavia a gestão comum poderá ser desigual, pois se os átomos pertencerem a elementos químicos diferentes, um deles poderá exercer uma maior força de atração sobre os eletrões partilhados, o que dará origem a uma molécula polar; se os átomos pertencerem ao mesmo elemento químico, ambos atrairão os eletrões partilhados com a mesma força, dando origem a uma molécula apolar.

Em 1918, Joel Hildebrand, químico norte-americano, baseado na teoria da valência, termo que viria a ser definido em 1919 por Langmuir, também químico norte-americano, como "o número de pares de eletrões que um determinado átomo partilha com outros" (p.255), propôs uma nova definição para as reações de oxidação-redução: "O termo oxidação é aplicado sempre que a valência toma um valor mais positivo. O processo oposto, o decréscimo na valência, é obviamente designado pelo nome geral de redução." (Hildebrand, 1918, citado por Jensen, 2007, p.1419). Por conseguinte, segundo Hildebrand ocorre uma reação de oxidação quando o "número de valência" aumenta, e ocorre uma reação de redução quando o "número de valência" diminui. Em 1919, Langmuir propôs que o termo *covalência* fosse usado para substituir o termo *valência.* Desde então, as ligações químicas estabelecidas por partilha de eletrões passariam a ser geralmente conhecidas por *ligações covalentes*. O método foi bem aceite pela química orgânica, mas pouca utilidade teria nas reações de oxidação-redução de compostos não covalentes: o método do número de valência aplicar-se-ia apenas a reações de oxidação-redução em que ocorre partilha de pares de eletrões, mas não existe transferência de eletrões entre moléculas.

Uma tentativa relevante para encontrar um método mais abrangente, que permitisse explicar as reações de oxidação-redução, foi proposta por Wendell Latimer, químico norte-americano, que o publicou em 1938 no seu livro *The oxidation states of the elements and their potencials in aqueous solutions*. Logo no prefácio da sua obra, Latimer (1938) explicita o seu método ao referir-se ao ião sulfato:

> Este método assume que cada oxigénio tem a carga de -2, o que dá uma carga de +6 ao enxofre. Estas assunções não apenas simplificam a classificação de compostos mas também são válidas na interpretação de reações de oxidação-redução. Portanto, a carga de +6 do enxofre pode ser relacionada com os seis eletrões envolvidos na semirreação de oxidação do enxofre a sulfato,
>
> $$S + 4H_2O \rightleftarrows 8H^+ + SO_4^{2-} + 6e^-$$
>
> Podem ser escritas semi-reações semelhantes para a oxidação (ou redução) de qualquer elemento livre a qualquer um dos seus compostos, e o número de eletrões

> envolvido na reação pode ser usado para definir o número de oxidação ou estado de oxidação do elemento. (pp. vi, vii)

Segundo Ringnes (1995) e Brock (2000, p.472), Latimer foi o primeiro a usar o termo *número de oxidação* ou o seu sinónimo *estado de oxidação* e a associá-los ao número de eletrões transferidos numa reação química. Embora Latimer não o mencione explicitamente, parece-nos que para poder estabelecer esta associação, as ligações químicas ainda eram consideradas iónicas. Vejamos como Latimer (1938) esclarece esta ambiguidade quanto ao caso do hidrogénio:

> Os estados de oxidação do hidrogénio são +1 e -1. Os ácidos e o ião hidrogénio são exemplos desses estados respetivamente. (…) Entre estas duas classes [os ácidos e os "verdadeiros" hidretos como NaH e CaH_2] existem muitos compostos, especialmente com carbono, nos quais dois eletrões são partilhados entre o hidrogénio e o outro átomo (covalência) e nos quais é, portanto, ambíguo falar do estado de oxidação do hidrogénio. Contudo, é costume referir-se ao estado de oxidação do hidrogénio em todos os compostos exceto nos verdadeiros hidretos como +1 sem levantar a questão da distribuição dos eletrões na ligação. (p.27)

Latimer reconheceu a dificuldade em atribuir um número de oxidação ao hidrogénio quando está envolvido numa ligação covalente, pelo que recorreu à tradição na Química e arbitrou o valor *+1*. Para o oxigénio, arbitrou o valor de *-2* para o número de oxidação, exceto no peróxido de hidrogénio e seus derivados, em que atribuiu *-1* (o que ainda hoje é aceite). Já para o carbono, o seu número de oxidação foi considerado mais complexo:

> Para o carbono no metano e os seus produtos de oxidação, podem ser atribuídos os seguintes números de oxidação: CH_4, -4; CH_3OH, -2; HCHO, 0; HCOOH, +2 e CO_2, +4. (…) Contudo, temos milhares de compostos para os quais é fútil tentar classificar o átomo de carbono em termos de estado de oxidação. Claro que podemos sempre escrever uma semirreação relacionando um dado composto com o elemento como, por exemplo, para o ácido benzoico,
>
> $$C_6H_5COOH \rightleftharpoons 7C + 2H^+ + 2H_2O + 2e^-$$
>
> Mas como tal reação não tem significado químico, esta classificação do átomo de carbono no ácido benzoico como tendo o número de oxidação de $-\frac{2}{7}$ não é útil. (p.118)

Com efeito, esta atribuição do número de oxidação não é útil porque Latimer relacionou este número com o número de eletrões transferidos, e considerar que foram transferidos $\frac{2}{7}$ eletrões, não tem significado físico. Mesmo assim, a química orgânica vê alguma

utilidade na atribuição de números de oxidação fracionários, nomeadamente, na seleção de reagentes para se conseguirem provocar determinadas transformações. Assim, tendo por base a proposta de Latimer da associação entre a transferência de eletrões e a atribuição dos números de oxidação, uma reação de oxidação corresponde a um aumento do número de oxidação e uma reação de redução, corresponde ao seu decréscimo. Na sua extensa obra, Latimer (1938) apresenta e discute o número de oxidação de muitos elementos químicos. Mais concretamente, no seu índice, contámos 70 elementos químicos. Esta apresentação dos números de oxidação é essencialmente descritiva, ou seja, não encontrámos nela nenhuma sistematização de regras, ou critérios para a sua atribuição; os números de oxidação do hidrogénio e do oxigénio são arbitrados com base na tradição química e parece-nos que Latimer os usa como referências. Deste modo, a ambiguidade entre número de oxidação e número de eletrões transferidos ainda é evidente, tanto mais, nalguns casos (e o próprio Latimer exemplifica), em que tal associação não tem significado físico.

Após a conceptualização da ligação covalente proposta por Lewis e Langmuir, tornou-se necessário adotar um critério decisivo, que permitisse interpretar as reações químicas, consoante as ligações químicas em questão fossem iónicas, ou covalentes. Em compostos claramente iónicos, poderia ser aplicado o modelo da transferência de eletrões para interpretar as reações de oxidação ou redução; ao passo que em compostos claramente covalentes, a aplicação de tal modelo não era viável. Este critério, designado por *eletronegatividade*, foi desenvolvido por Linus Pauling, também químico norte-americano. Este termo não era novo à altura de Pauling, pois remonta a Avogadro e ao início do século XIX (Jensen, 1996) e, para além disso, Berzelius havia estabelecido uma tabela de elementos desde o mais eletronegativo (o oxigénio) até ao mais eletropositivo (o hidrogénio). No entanto, foi Pauling quem, pela primeira vez, estabeleceu uma escala quantitativa de eletronegatividade (Jensen, 1996, 2003, 2012 a,b,c). Em 1939, Pauling publicou a obra intitulada *The nature of the chemical bond* que se tornou uma das mais citadas na comunidade científica, de acordo com o *Science Citation Index* (Brock, 1992, p.505). Nesta obra, Pauling (1960) define a eletronegatividade como "a atração de um átomo neutro numa molécula estável pelos eletrões" (p. 95). A utilização da escala de Pauling permite classificar uma ligação química como *covalente*, ou *iónica* e com base nela, é utilizada atualmente a regra geral da Química que estabelece que, quando a diferença de eletronegatividade entre dois elementos numa ligação tem um valor superior a dois, a ligação é considerada iónica;

caso contrário, a ligação será covalente (Chang, 2005, p. 359). Com esta regra, baseada na escala de Pauling, dispomos de um critério quantitativo que nos permite decidir se podemos, ou não, aplicar o modelo da transferência de eletrões na interpretação de reações de oxidação-redução. E nos casos de não podermos aplicar esse modelo, ou seja, quando estivermos perante ligações covalentes? Para estes casos, Pauling (1950) retoma o conceito do número de oxidação de Latimer propondo a seguinte definição: "o número de oxidação de um átomo é um número que representa a carga elétrica que o átomo teria se os eletrões no composto fossem atribuídos aos átomos de uma certa maneira" (p.264). Essa "certa maneira" refere-se a um conjunto de regras que Pauling (1950, p.265) arbitrou. Resumidamente, são:

1- O número de oxidação de um ião monoatómico num composto iónico é igual à sua carga elétrica.
2- O número de oxidação de um átomo numa substância elementar é zero.
3- Num composto covalente, o número de oxidação de cada átomo é a carga elétrica que teria quando cada um dos pares de eletrões partilhados for atribuído ao átomo mais eletronegativo.

Uma extensão destas regras pode ser encontrada no anexo A. De acordo com o próprio Pauling (1950), o estabelecimento destas regras não é totalmente claro e a sua aplicação requer que se considerem alguns constrangimentos: "estas regras, embora simples, contêm alguma ambiguidade. Apesar de a sua aplicação ser usualmente um procedimento expedito, por vezes requer um conhecimento considerável sobre a estrutura molecular" (p.264). E a que se deve esta ambiguidade?

Definições mais recentes do número de oxidação, tais como a proposta por Chang (2005), incluem a referência ao "número de cargas que um átomo teria numa molécula, ou num composto iónico, se houvesse completa transferência de eletrões" (p.128), ou então, se incluirmos o conceito de eletronegatividade, "o número de oxidação corresponde ao número de cargas que um átomo teria se os eletrões fossem completamente transferidos para o mais eletronegativo dos átomos ligados numa molécula" (p.359). A ambiguidade está, portanto, em considerar que, num composto covalente, existe transferência completa de eletrões para o átomo mais eletronegativo sendo que, na realidade, essa transferência não ocorre.

Assim, o ensino do conceito *número de oxidação*, tal como proposto por Pauling, apresenta algumas questões do ponto de vista pedagógico. Suportar num raciocínio abstrato que considera existir transferência de eletrões, uma interpretação

correta da realidade – não há transferência de eletrões numa ligação covalente – desafia o princípio lógico da não contradição, ainda que o façamos em planos distintos: o da realidade e o do pensamento formal. Tal como afirmam Mikulecky et al. (2008), "os números de oxidação são ferramentas úteis, mas não são descrições diretas da realidade física" (p.240) e Sisler e Vanderwerf (1980) vão ao ponto de consideram que o conceito *número de oxidação* é um "sofisma químico", que nós interpretamos como um logro que induz em erro. O conceito é, efetivamente, mais abrangente, permitindo explicar, para além dos compostos iónicos, a oxidação e redução de compostos covalentes, mas falta-lhe a consistência física de que falam Sisler e Vanderwerf (1980):

> Apenas alguns reconhecem o que é, de facto, verdade – que não existe nenhuma base consistente para distinguir as reações de oxidação-redução de outras reações químicas, que não seja através da variação nos números de oxidação; e que estes números não têm nenhuma base física consistente mas são calculados no que agora tem de ser reconhecido como regras arbitrárias. De facto, há quem tenha sugerido que o conceito de oxidação-redução [definido como uma variação do número de oxidação] não é mais do que um artifício na história das ciências químicas. (p.42)

Sisler e Vanderwerf (1980) referem, ainda, o parco progresso no ensino das reações de oxidação-redução patente ao longo dos 30 anos anteriores à data em que escreveram o seu artigo: professores, alunos e manuais escolares mantinham-se relutantes em utilizar os números de oxidação. Referindo-se ao acerto de equações de oxidação-redução envolvendo compostos orgânicos, Vanderwerf (1945) já atribuía essa relutância à:

> (…) persistência em considerar que todos os métodos sistemáticos utilizados para acertar tais equações dependem da noção de que, em qualquer reação de oxidação-redução, existe uma completa transferência de eletrões na qual o ganho total de eletrões da molécula reduzida deve ser igual ao número total de eletrões perdidos pela molécula oxidada. Por conseguinte, é muitas vezes afirmado que o método da variação do número de oxidação utilizado no acerto de equações, é válido apenas porque ao aumento de uma unidade no número de oxidação, corresponde à perda de um eletrão e, inversamente, à diminuição de uma unidade no número de oxidação corresponde ao ganho de um eletrão. Mas tal argumento é insustentável quando estão envolvidas ligações químicas não iónicas porque, para estes casos, tal como Lewis demonstrou, os eletrões não são completamente transferidos. (p.218)

Atualmente, também nós partilhamos dessa relutância, dada a aparente contradição inerente ao conceito *número de oxidação*. No entanto, reconhecemos que não existe alternativa melhor. Com esta consciência consideremo-lo, portanto, um "artifício", um instrumento de cálculo como tantos outros formalismos que nos dá a matemática, mas que nos permite uma interpretação credível das reações de oxidação-

redução. E partilhemos esta consideração com os alunos pois, como afirmam Sisler e Vanderwerf (1980), "já é tempo (…) de pelo menos reconhecermos a sua arbitrariedade e a apresentarmos honestamente aos nossos alunos" (p.44).

2.1.8- Concepções alternativas relativas aos conceitos de oxidação e redução.

Estas concepções alternativas estão identificadas e descritas na literatura. Para melhor as conhecermos, vamos exemplificá-las recorrendo a um estudo realizado por Garnett, Garnett e Treagust (1990) que realizaram entrevistas a alunos quando confrontados com as seguintes reações químicas:

(1) $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$

(2) $Mg + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2$

(3) $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

(4) $CO_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow CO_2 + H_2O$

Como sabemos, as reações químicas (1) e (2) são reações de oxidação-redução, mas as reações químicas (3) e (4) não o são, pois não há variação nos números de oxidação de cada elemento. Algumas respostas registadas pelos autores são reveladoras das seguintes concepções alternativas:

(a) A reação (1) é oxidação-redução porque há captação de oxigénio. A reação (2) não é oxidação-redução porque há captação de cloro e não oxigénio.

(b) A reação (3) tanto pode ser de oxidação como de redução, porque o ião hidrogénio capta um eletrão e o ião hidróxido, cede um eletrão.

(c) A reação (4) é oxidação-redução porque houve transferência de oxigénio.

(d) A reação (4) tanto pode ser oxidação como redução, porque o ião carbonato cedeu oxigénio para formar dióxido de carbono e o ião hidrogénio, captou oxigénio para formar água.

(e) A reação (4) é oxidação porque há variação de carga de -2 do ião carbonato para zero do dióxido de carbono, pelo que o ião carbonato cedeu dois eletrões.

Para além destas, muitas outras concepções alternativas estão documentadas na literatura de que são exemplo as apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2.

Resumo das concepções alternativas relacionadas com as reações de oxidação-redução

Concepções alternativas
Identificação das reações de oxidação-redução
1- Em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação; se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução.
2- Se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução.
3- Em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões.
4- Se numa equação química não estiverem visíveis os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução.
5- Numa equação, as mudanças nas cargas de entidades químicas poliatómicas pode ser usado para classificar a reação como oxidação-redução.
6- Numa equação, as mudanças nas cargas de entidades poliatómicas pode ser usado para determinar o número de eletrões cedidos ou captados.
7- Uma reação química pode ser quer oxidação quer redução.
Concepções alternativas relacionadas com o que ocorre durante a reação
8- A reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra.
9- As reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto.
10- O oxidante sofre oxidação
11- O redutor sofre redução.
Atribuição de números de oxidação
12- O número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga do ião monoatómico desse elemento (quando deveria ser zero).
13- O número de oxidação é um número fixo, não varia. (O aluno não admite exceções às regras. Por exemplo, na água o nº de oxidação do oxigénio é -2 mas no peróxido de hidrogénio é -1).
14- Os números de oxidação podem ser atribuídos a iões poliatómicos. A carga desse ião poliatómico indica o seu número de oxidação.
15- Num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga do ião.
16- O número de oxidação é o número de substâncias oxidadas ou quantas vezes uma substância pode ser oxidada.

Nota: resumo de algumas das concepções alternativas relativas aos conceitos de oxidação-redução constantes na literatura (Garnet, Garnet e Treagust, 1990; Garnet e Treagust, 1992a, 1992b; Garnet, Garnet e Hackling, 1995; Schmidt, 1995; De Jong e Treagust, 2002; Schmidt e Volke, 2003; Horton, 2004; Barke, Hazari e Yitbarek, 2009)

Nela destacamos as que servirão de base às opções metodológicas deste estudo atendendo à sua principal finalidade, dar resposta à questão de investigação formulada.

Qual a origem específica das concepções alternativas relativas aos conceitos de oxidação-redução? Taber (2009c) atribui as causas à indistinção e confusão entre os modelos interpretativos das reações de oxidação-redução:

> Muitas vezes, o progresso no sistema educativo, reflete mudanças históricas que alteraram o foco desde a adição ou remoção de substâncias reais (oxigénio, hidrogénio), passando pelo movimento conjeturado de entidades submicroscópicas (eletrões), até à mudança de números que são atribuídos de acordo com um conjunto estabelecido e formal de regras (números de oxidação). Enquanto isto torna a disciplina fascinante para alguns alunos, torna-a confusa e arbitrária para muitos outros. (p.14)

Relembremos, agora, o triângulo de Johnstone. Trabalhar no lado esquerdo do triângulo, entre os níveis *Macro* e *Sub-Micro*, implica que os nossos alunos tenham conhecimentos da teoria atómica da matéria e das explicações do mundo macroscópico com base no comportamento de partículas subatómicas, que nem sempre é o caso. Talvez decorra desta dificuldade que os alunos, muitas vezes, apenas classifiquem as reações que envolvam oxigénio como sendo oxidação-redução. Também não é expectável que surjam, com facilidade, explicações abstratas e formais acerca das interações entre partículas ao nível atómico a partir da confrontação com o mundo das experiências sensíveis. Daqui decorrem, porventura, as concepções alternativas em considerar que apenas as reações químicas em que ocorra transferência de eletrões são de oxidação-redução, ou apenas aquelas em cujas equações químicas é visível a representação dos eletrões e iões ou, ainda, considerar que os números de oxidação são iguais às cargas elétricas dos iões poliatómicos, o que revela uma clara indistinção entre os modelos *número de oxidação* e *transferência de eletrões*.

Também Ringnes (1995) refere, no seu estudo, que mais de 50% dos alunos adotam o modelo transferência de eletrões para a explicação das reações de oxidação-redução. Por conseguinte, a indistinção entre os modelos *transferência de eletrões* e *número de oxidação* parece ser especialmente crítica. Será, portanto, desejável para o professor ter conhecimento prévio acerca de qual dos modelos (*oxigénio, transferência de eletrões* e *número de oxidação*) colherá a preferência dos alunos, pois é uma informação vantajosa para antecipar as concepções alternativas. Ringnes (1995) refere-nos que essa preferência é manifestada, em geral, pelo modelo *transferência de eletrões*.

Mas o estudo deste autor reporta-se a alunos noruegueses. Não encontrámos, na literatura consultada até à data, estudos semelhantes para a realidade portuguesa.

2.2- A mudança conceptual

Nesta secção, vamos problematizar a questão da mudança conceptual, começando por confrontar as duas grandes teorias que a explicam: a mudança conceptual por captura, que pressupõe a adição de novos conceitos aos já existentes e a mudança conceptual por troca, que pressupõe a substituição dos conceitos existentes por novos. Faremos uma análise comparativa entre essas duas teorias em confronto e justificaremos por que razão optámos pela troca, em vez da captura conceptual. Descreveremos vários modelos de troca conceptual, com maior ênfase no Conceptual Change Model, justificando as razões da nossa opção metodológica por este modelo. Daremos conta das principais dificuldades na promoção do conflito cognitivo, a fase que consideramos ser crítica num modelo de troca conceptual. Terminaremos esta secção propondo uma reconsideração do que é a mudança conceptual e a procura por uma definição mais abrangente e atual.

2.2.1- Mudança conceptual por evolução ou revolução?

A problemática da mudança conceptual refere-se ao entendimento de como os nossos conceitos mudam quando somos confrontados com novas ideias, ou novas informações. Entendamos por conceitos, tal como definidos por Carey (1991), as "unidades das representações mentais"(p. 258) que desenvolvemos acerca da realidade (material e imaterial) que nos rodeia (objetos e relações entre eles).

Esta problemática é de claro interesse para a aprendizagem das ciências, já que esta envolve a interação entre o conhecimento pré-existente e a nova informação. De acordo com Hewson (1981), as questões centrais que a mudança conceptual na aprendizagem das ciências coloca é saber: (1) quando confrontado com novas experiências, sob que condições é que o aluno mantem os seus conceitos inalterados ou os substitui por serem inadequados? (2) a partir da análise de tais condições, que implicações se podem retirar para o ensino das ciências?

Consideremos um aluno que detém na sua estrutura cognitiva um determinado conceito C. Esse aluno é então confrontado, de algum modo, com um outro conceito C' que pode ser uma teoria diferente sobre o mesmo tipo de fenómeno. O que pode então acontecer ao conceito C'? Hewson (1981) indica-nos três possibilidades:

1- C' é rejeitado;
2- C' substitui C porque os dois conceitos são mutuamente irreconciliáveis. A este processo vamos chamar *troca conceptual*;
3- C' é conciliado com os conceitos existentes, incluindo C, e integrado na estrutura conceptual. A este processo vamos chamar *captura conceptual*.

A conciliação entre C e C' implica que existe alguma semelhança entre os dois conceitos, são parte do mesmo conjunto de ideias, não são contraditórios entre si, pelo que existe alguma consistência entre eles. A mudança conceptual faz-se por acréscimo ou adição de novos conceitos; o aluno constrói o novo no prolongamento do que já lhe é familiar. Esta forma de mudança conceptual insere-se, epistemologicamente, numa perspetiva da construção da Ciência por continuidade ou evolução. Pelo contrário, a substituição de C por C' implica que existem diferenças irreconciliáveis entre ambos os conceitos. Podemos imaginar C e C' como conceitos rivais que competem por um lugar na estrutura cognitiva do aluno, sendo o conflito cognitivo o motor dessa competição. Esta forma de mudança conceptual é consentânea com uma perspetiva de construção da Ciência por troca ou revolução.

Um trabalho relevante sobre a mudança conceptual em sala de aula foi desenvolvido, nos Estados Unidos da América, por Susan Carey, que estudou nas crianças conceitos relativos à Biologia (de que são exemplo a vida, o corpo humano, os animais) e cujos resultados foram publicados numa obra de referência (Carey, 1985). Carey (1991) veio corroborar a perspectiva revolucionária de Kuhn em sala de aula, no domínio da Biologia. A autora começou por reconhecer que a mudança conceptual que ocorre durante o processo de aquisição de conhecimentos pode ir "desde o enriquecimento de conceitos que mantêm o seu núcleo até à evolução de um conjunto de conceitos para outro que é incomensurável com o conjunto original" (p.288). Carey desenvolveu vários estudos quantitativos sobre a conceptualização das crianças acerca do mundo vivo. Usando o método clínico de Piaget, questionou crianças com idades compreendidas entre os quatro e os 10 anos sobre conceitos relacionados com a vida e morte, os animais e plantas, o crescimento, a reprodução e o género, o corpo humano e as funções do corpo que sustentam a vida (alimentação, respiração, circulação, entre

outros). Carey (1985) observou que "claramente, as crianças até aos 10 anos de idade adquirem um grande número de conhecimentos acerca do mundo vivo" (p.186), e interrogou-se:

> Será que os resultados que eu apresentei e analisei indicam que o conhecimento da criança é reestruturado? Se sim, que tipo de reestruturação ocorre - do tipo mais fraco (…) ou do tipo mais forte como afirmam os historiadores da Ciência para caracterizar a mudança de teorias? (p.186)

Carey referia-se à mudança conceptual por captura ou evolução como uma reestruturação do tipo mais fraco (weaker kind ou weaker sense) e à mudança conceptual por troca ou revolução como uma reestruturação do tipo mais forte (stronger kind ou stronger sense). A autora afirma que as crianças adquirem conceitos de Biologia intuitivos, pois mudam de uma teoria animista, na qual, por exemplo, o Sol é considerado um ser vivo, para uma série de teorias biológicas que explicam os factos racionalmente. Por exemplo, uma criança muito jovem pode considerar o Sol como um ser vivo porque dá luz, mas aos 10 anos de idade as crianças já adquiriram conhecimentos biológicos suficientes para rejeitarem as suas crenças anteriores. Crianças desta idade entendem a morte, reprodução, género, digestão, circulação e respiração em termos de processos biológicos internos. Um exemplo muito marcante de mudança conceptual, segundo Carey, refere-se ao conceito de *ser vivo*: as crianças distinguem o *estar vivo* de *estar morto,* mas não entre *ser vivo* e *inanimado*. Enquanto as crianças de 10 anos de idade são capazes de classificar os animais e as plantas como seres vivos, distintos de objetos inanimados, as crianças mais jovens não conseguem fazer essa distinção. Parte desta reorganização conceptual que ocorre nas crianças, à medida que adquirem mais conhecimentos biológicos é a subordinação dos conceitos *animal* e *planta* ao conceito de *ser vivo*. Carey compara esta reorganização à que ocorreu quando Galileu unificou os conceitos de *movimento natural* e *movimento violento,* de que Aristóteles fazia distinção.

Deste modo, este estudo de Carey, publicado em 1985, aponta para uma analogia entre a mudança conceptual que ocorre nas crianças e as teorias descontinuistas de progressão da Ciência, ou seja, a mudança conceptual ocorrerá essencialmente por *troca*. Essa analogia não reside apenas nos conteúdos, mas também nos mecanismos e estrutura dessas mudanças. De facto, se os estudos de Wandersee (1985) identificavam analogias entre os conceitos que ocorrem ao longo do desenvolvimento da criança e os

que foram desenvolvidos ao longo da História da Ciência, Carey aponta-nos para uma analogia entre os modos como essas mudanças ocorrem: por crescente diferenciação, integração e hierarquização dos conceitos, que se tornam radicalmente distintos dos que os precedem.

Os estudos de Carey, por terem sido os primeiros trabalhos empíricos sobre os mecanismos de mudança conceptual nas crianças, tiveram fortes repercussões. Por conseguinte, não é de admirar que a maior parte dos modelos de mudança conceptual que surgiram desde os anos 80 sejam modelos de troca conceptual. Em reconhecimento da importância dos estudos de Carey, Thagard (1992) afirmou:

> Carey sugere que as crianças passam por uma mudança conceptual análoga às formas radicais de mudança conceptual descritas pelos historiadores da Ciência como Kuhn (...) Assume que o desenvolvimento do conhecimento biológico nas crianças é um caso de substituição de teorias, na qual a criança rejeita o animismo a favor de uma nova teoria biológica (…) Carey descreve uma bateria de experiências relativas aos conceitos das crianças sobre a vida, animais e partes do corpo humano para apoiar a sua interpretação de que o desenvolvimento do conhecimento das crianças é semelhante às mudanças das teorias em Ciência. (pp.253,257)

Os trabalhos de Carey vieram, contudo, a sofrer alguma contestação. Em tom de crítica, Thagard (1992) considera que "comparada com as revoluções científicas, a mudança conceptual descrita por Carey é modesta" (p.254). A nós parece-nos que os trabalhos pioneiros nunca são modestos. Carey e os autores dos modelos de mudança conceptual por troca, de que trataremos mais detalhadamente ao longo desta dissertação, inauguraram um novo quadro de referência na promoção da mudança conceptual em sala de aula: a perspetiva epistemológica de Bachelard e Kuhn, acrescida à perspetiva psicológica de Piaget e Ausubel.

2.2.2- Implicações dos estudos sobre mudança conceptual para o ensino dos conceitos de oxidação e redução

Uma vez apresentadas as duas grandes teorias de mudança conceptual - a *troca* e a *captura* – torna-se, agora, importante comparar as metodologias inerentes a cada uma dessas teorias, desejando-se dar resposta à questão de investigação formulada, que é a finalidade deste estudo.

Santos (1998) sugere várias estratégias de ensino e aprendizagem para promover a mudança conceptual em sala de aula por troca e por captura. Apresentamos um resumo dessas estratégias na Tabela 3, que vamos analisar.

Tabela 3

Estratégias que promovem a mudança conceptual por troca e por captura

Troca	**Captura**
- Trabalhos laboratoriais para infirmar ideias prévias. - Episódios da História da Ciência que serviram para superar obstáculos epistemológicos. - Analogias e metáforas para o esclarecimento dos conceitos científicos. - Contraexemplos e eventos dissonantes. - Textos construídos para causar incongruências e refutar as concepções alternativas dos alunos. - Diversidade de contextos para precisar significados diferentes atribuídos às mesmas palavras. - Argumentação e confronto de ideias.	- Trabalhos laboratoriais para confirmar ideias prévias. - Fios condutores desenvolvidos ao longo da evolução das ideias na História da Ciência. - Analogias e metáforas em continuidade com as ideias dos alunos. - Diversidade de exemplos, congruentes com as ideias dos alunos e apresentados numa progressão coerente.

Nota: resumo de estratégias de ensino-aprendizagem adequadas a cada uma das teorias de Mudança Conceptual, adaptado de "Mudança conceptual na sala de aula" por M.E. dos Santos, 1998, Lisboa, Livros Horizonte, pp. 192-193.

Note-se que o objetivo das estratégias mencionadas no caso da troca conceptual - os trabalhos laboratoriais, os textos, a argumentação, contraexemplos e confronto de ideias- é claramente o de causar o conflito cognitivo no aluno. É de realçar a diferente utilidade que as duas teorias dão aos trabalhos laboratoriais – na *troca*, pretende-se que os alunos se confrontem com ideias contraditórias através de dados dissonantes, já na *captura*, pretende-se que os alunos tenham oportunidade de confirmar as suas ideias. A captura conceptual pode ser promovida, segundo Santos (1998), através de mapas conceptuais. Consideramos, contudo, que os mapas conceptuais podem ser usados como estratégia tanto numa, como noutra das formas de promover a mudança conceptual. Santos (1998) refere, ainda, mais duas estratégias a utilizar para a promoção da mudança conceptual: a primeira é a utilização de analogias e metáforas; a segunda, a utilização da História da Ciência.

As analogias e metáforas são frequentemente usadas pelos professores na sala de aula. Relembremo-nos, por exemplo, da comparação que é feita entre a célula e uma fábrica (Glynn e Takahashi, 1998), quando se pretende esclarecer as funções dos vários organitos celulares em Biologia; ou entre um circuito elétrico e um moinho de água para

esclarecer o conceito *potencial elétrico* na Física (Trindade, 2011). A utilização de analogias desenvolve, no aluno, o raciocínio analógico, já que se baseia na comparação entre o conceito que já existe e um conceito novo, conceptualmente desconhecido, sendo certo que a analogia estabelece relações entre ambos. A analogia serve de ponte entre a âncora – o conhecimento anterior- e o alvo – um conhecimento novo (Brown e Clement, 1989). Por conseguinte, a analogia é um mediador da aprendizagem e terá uma utilidade acrescida, especialmente, se o conceito a aprender for mais abstrato, já que o torna mais concreto e real. De acordo com Santos (1998), as analogias podem ser usadas como estratégia quer na *troca*, quer na *captura*. Se estiverem em continuidade com as ideias dos alunos, em que se constrói o novo com base no familiar, faz sentido serem usadas na *captura conceptual*. Se os alunos conseguirem estabelecer comparações entre conceitos que inicialmente consideravam não comparáveis, então a *troca conceptual* fica facilitada. A literatura refere inúmeros exemplos de analogias utilizadas com o propósito de alterar as concepções alternativas dos alunos; veja-se, por exemplo, Stavy (1991) que estabelece analogias entre a sublimação do iodo e a evaporação da acetona para o esclarecimento da conservação de massa, Venville e Treagust (1996), que comparam o funcionamento de uma bomba e do coração, Oliveira (1996) que utiliza analogias e metáforas na lecionação do tema *o átomo* e argumenta que "a metáfora e a analogia parecem serem poderosos instrumentos heurísticos na aquisição e na mudança conceptual" (p. X) e Gentner et al. (1997), que referem as analogias estabelecidas por Kepler no estabelecimento das suas leis.

O recurso à História da Ciência como estratégia de promoção da mudança conceptual já foi anteriormente referido como forma de diagnosticar e, até, de prevenir as concepções alternativas. A importância do ensino da História da Ciência e, em particular, da História da Química, está reconhecida desde os anos vinte do século XX (Rodríguez e Niaz, 2002). Matthews (1994) apresenta-nos uma série de razões para justificar a inclusão da História da Ciência no currículo das várias disciplinas científicas. Sucintamente:

1) A História da Ciência promove uma melhor compreensão de conceitos e métodos científicos;
2) As abordagens históricas estabelecem uma conexão entre o desenvolvimento do pensamento individual e o desenvolvimento das ideias científicas;

3) A História da Ciência tem um valor intrínseco. A revolução científica do Renascimento, o darwinismo, a descoberta da penicilina, são exemplos de acontecimentos que devem fazer parte da cultura geral dos alunos;
4) A História da Ciência é necessária para o conhecimento da natureza da Ciência;
5) A História da Ciência contradiz o cientismo e dogmatismo que frequentemente são encontrados nos textos científicos;
6) A História da Ciência, ao examinar a vida e o tempo de um cientista, humaniza a Ciência, tornando-a menos abstrata e mais apelativa para o aluno;
7) A História da Ciência favorece a interdisciplinaridade ao relacionar as várias disciplinas científicas, o que suporta a natureza integrada e interdependente dos feitos humanos.

De acordo com Solbes e Traver (1996), a não inclusão da História da Ciência no ensino traz, como consequência, uma visão da Ciência, por parte dos alunos, caracterizada por: (1) considerar a Ciência como uma descoberta e não como uma construção de conhecimentos; (2) um empirismo excessivo em que os conhecimentos científicos se constroem exclusivamente por indução a partir da observação e experimentação; (3) ignorar o papel dos problemas que originaram o desenvolvimento de algumas teorias importantes; (4) uma Ciência constituída basicamente por fórmulas, cuja aplicação mecânica permite resolver todos os problemas; (5) uma concepção cumulativa e linear do desenvolvimento científico que ignora a existência de crises e a mudança de paradigmas; (6) a Ciência como fruto do trabalho individual de alguns génios e não como uma atividade humana coletiva; (7) uma imagem da Ciência alheada do contexto histórico e social.

No caso específico do ensino e aprendizagem da Química, a prática em sala de aula continua, aparentemente, a ser pouco "histórica" (Brush, 1978, 2000). Brush (1978) sugere-nos uma possível explicação para esse facto:

> Os químicos, comparados com outros cientistas, têm um relativo pouco interesse na história da sua própria disciplina. Esta situação é refletida, e perpetuada, pelo caráter anti-histórico da maior parte da educação química (…). A educação química parece estar orientada, principalmente, para o treino de químicos profissionais, engenheiros químicos e médicos, um grupo que está interessado na Química pelo seu valor prático, como se fosse uma coleção de factos experimentais

> relacionados por algumas regras, em vez de uma disciplina intelectualmente estimulante. (p.289)

Certamente que o professor de Química deve estar consciente quer dos formalismos, quer do valor prático da sua disciplina, mas a atividade docente também tem por objetivo a socialização da Química. Um ensino da Química excessivamente formal, em que os cientistas estão descontextualizados do seu tempo e da sua sociedade, contribui para a sua desumanização. Para conferir um cariz mais humano à Química, a inclusão de pequenas biografias é um contributo importante, já que incrementa a motivação (Solbes e Traver, 2003). Estes autores sugerem, ainda, como formas de incrementar a motivação: uma abordagem histórica acrescentando às biografias, artigos e trabalhos originais dos cientistas, ou vídeos que mostrem a construção e evolução de conceitos.

A invocação de personagens históricas da Ciência e dos seus trabalhos também é uma forma de credibilizar os dados contraditórios e, assim, promover a mudança conceptual (Chinn e Brewer, 1993). Atendamos, por exemplo, à evolução histórica do conceito de *átomo* e dos modelos atómicos, que são lecionados atualmente no nono ano do Ensino Básico. Rodríguez e Niaz (2002) constataram que o ensino do átomo e da estrutura atómica é essencialmente descritivo, quer nas aulas, quer nos manuais escolares: cada modelo atómico é analisado quanto ao conteúdo do núcleo e quanto à existência e posicionamento de cada partícula subatómica no átomo. Pouca relevância é dada aos dados experimentais contraditórios que determinaram o abandono de um modelo e o avanço para outro. Como consequência, os alunos desenvolvem "modelos híbridos" (Justi e Gilbert, 2000) que misturam as características dos diferentes modelos e que, segundo Taber (2003), vão originar um conjunto de conceitos e ideias individuais sobre o átomo, que estão na base das concepções alternativas relativas a este tema. Pensamos que esta análise é extensível às reações de oxidação-redução. A confusão entre os três modelos interpretativos levam a que os alunos os misturem e criem os seus próprios modelos híbridos para interpretarem estas reações químicas, o que conduzirá às concepções alternativas. É, portanto, imprescindível que se delimitem os domínios de aplicação de cada modelo e que os vários modelos de interpretação das reações de oxidação-redução sejam confrontados entre si.

Para além de ter apontado as estratégias consonantes com cada uma das formas de promover a mudança conceptual- por *troca* ou *captura*- Santos (1998) argumenta

que não é correto, do ponto de vista educativo, optar sempre por um destes modelos em detrimento do outro:

> Não nos parece legítimo pretender o monopólio de um dos modelos, captura ou troca, para toda e qualquer situação de aprendizagem. Há certas estratégias metodológicas que se coadunam melhor com situações de congruência, enquanto outras se coadunam melhor com situações de conflito cognitivo. (p.194)

Santos (1998) argumenta, ainda, que situações existem em que se podem usar ambos os modelos de mudança conceptual:

> São viáveis os dois tipos de abordagem metodológica. Ou, à partida se recorre a uma estratégia que estabeleça uma ponte da concepção inicial para o conceito científico por progressivo alargamento e envolvimento daquela – captura conceptual, ou, à partida se provoca uma ruptura com a concepção inicial. (p.194)

Concordamos, efetivamente, que se pode optar pela *troca* ou pela *captura conceptual*, mas consideramos que é desejável haver uma correspondência, um *matching*, entre as características dos alunos, as suas concepções alternativas, os conceitos a lecionar e o modelo de mudança conceptual a implementar.

Com efeito, no presente estudo, as características das concepções alternativas esperadas nos alunos e os conceitos envolvidos nas reações de oxidação-redução direcionaram-nos para a *troca*, em detrimento da *captura* para atingir a nossa principal finalidade, dar resposta à questão de investigação formulada.

Para justificarmos a nossa opção pela *troca conceptual*, vamos recorrer ao trabalho de Chi (1992). A figura 7 representa a visão desta autora sobre a mudança de paradigmas. Na figura, os paradigmas X e Y estão representados por círculos grandes, que incluem teorias individuais (A, B ou E, F). Cada uma destas teorias inclui um conjunto de conceitos (a1, a2,…, b1, b2,…) e cada um dos paradigmas inclui um conjunto de assunções (X1, X2,…, Y1, Y2,…) que são partilhadas pelas várias teorias dentro do respetivo paradigma. Essas assunções são visões do mundo, das suas entidades e interações e das opções metodológicas na investigação científica; assim, todos os cientistas que trabalham num paradigma adotam essas assunções. Por exemplo, todas as teorias atómicas assumem que a matéria é constituída por átomos, todas as teorias evolucionistas partilham que os organismos conhecidos têm um ascendente comum. Os paradigmas X e Y diferem nas suas características essenciais e opções metodológicas, ou seja, as suas assunções são diferentes, as explicações nelas baseadas

também diferem, bem como as metodologias selecionadas na investigação. Porque os paradigmas X e Y são radicalmente diferentes, será necessário uma revolução para derrubar um deles e substituí-lo por outro. Do mesmo modo, as teorias dos dois paradigmas (teorias A e E, por exemplo) também são radicalmente diferentes.

Figura 7. Mudança de paradigmas, de teorias e mudança conceptual

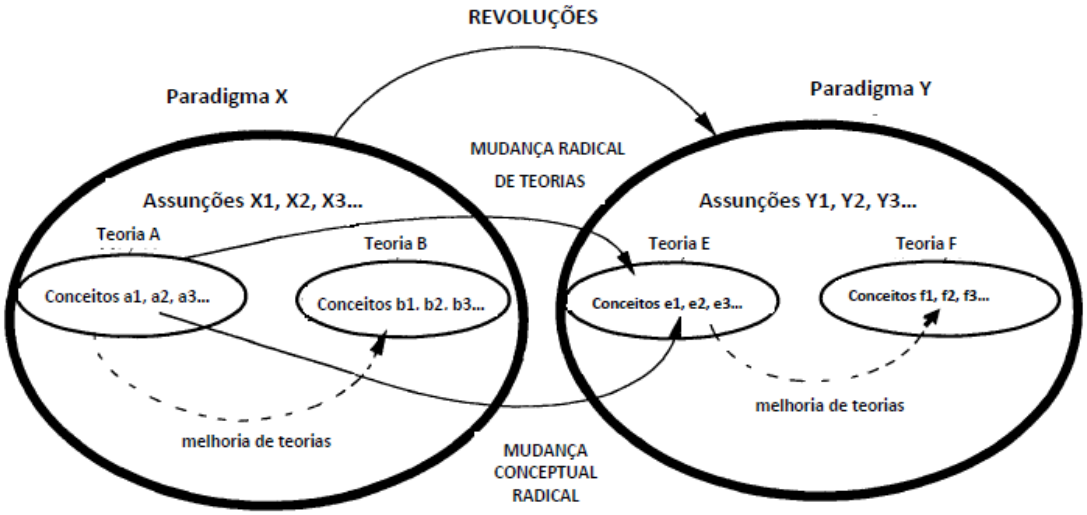


Figura 7. Esquema elucidativo das mudanças de paradigmas, das mudanças de teorias dentro de um paradigma e das mudanças conceptuais radicais entre teorias de paradigmas distintos. Retirado de "Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science" por M. Chi, In "Cognitive models of science" por R. Giere (Ed.), 1992, p. 146, Minneapolis, USA, University of Minnesota Press.

Todavia, as teorias dentro de um mesmo paradigma (A e B ou E e F) não são radicalmente diferentes. Segundo Chi, essas teorias são modificações umas das outras, são incrementos e melhorias umas das outras, já que partilham o mesmo conjunto de assunções e escrutinam os mesmos problemas, que são considerados passiveis de serem resolvidos pelas opções metodológicas inerentes ao paradigma. Por conseguinte, de acordo com Chi (1992):

> Na discussão da mudança de paradigmas, os historiadores e filósofos da Ciência discutem, predominantemente, a mudança que ocorre a dois níveis: ao nível dos paradigmas de tal modo que a mudança é referida como uma revolução e ao nível de teorias individuais incluídas em diferentes paradigmas e referidas aqui como mudanças radicais de teorias, para ser consistente com a terminologia da mudança conceptual radical. (p. 147)

Consideramos que não será abusivo da nossa parte, atendendo às explicações dadas pela autora, assumirmos que as mudanças entre teorias dentro de um paradigma, referidas como "melhoria de teorias", correspondem à mudança conceptual por *captura* (representado na figura 7 pelas setas a tracejado). Do mesmo modo, vamos assumir que as mudanças entre teorias de paradigmas diferentes, referidas como "mudança radical de teorias", correspondem à mudança conceptual por *troca* (representada na figura 7 pelas setas a cheio).

A figura 8 representa a nossa interpretação da visão de Chi e sua aplicação aos conceitos e modelos explicativos das reações de oxidação-redução que irão ser abordados com os sujeitos do presente estudo. Os círculos menores simbolizam as várias teorias a que nos referimos na revisão da evolução histórica dos conceitos. Algumas dúvidas nos assombraram a mente, por esta altura. Será que os três modelos, *oxigénio, transferência de eletrões* e *número de oxidação* podem ser considerados como inerentes a três paradigmas distintos? Analisemos as diferenças e semelhanças entre os três modelos e as várias teorias inerentes a cada um.

No modelo *oxigénio*, a principal assunção é a consideração de que as reações químicas em estudo se devem à intervenção de um gás. Priestley descobriu esse gás e reconheceu a sua intervenção, mas foi Lavoisier quem lhe deu o nome- oxigénio- e interpretou o seu papel nas reações químicas de uma forma que veio a ser aceite pela comunidade científica da época. Por conseguinte, consideramos que o modelo *oxigénio* se inscreve num paradigma distinto dos outros dois.

No modelo *transferência de eletrões*, as assunções incluem a consideração de que a matéria é constituída por átomos, que têm natureza elétrica e que as reações químicas se devem à transferência de cargas elétricas entre espécies químicas. Grotthuss apresentou um mecanismo em que as cargas elétricas eram transferidas entre moléculas adjacentes, Berzelius defendeu que as moléculas eram constituídas por pólos com cargas elétricas de sinais contrários que se atraíam e transferiam cargas elétricas entre si e finalmente, Ostwald propôs que essas cargas elétricas transferidas seriam os eletrões, descobertos por Thomson e que Berzelius desconhecia. Consideramos que o modelo *transferência de eletrões* se coaduna com outro paradigma, distinto do anterior, e que estas três teorias se podem incluir nele.

Figura 8. Captura conceptual e troca conceptual nos três modelos de interpretação das reações de oxidação-redução

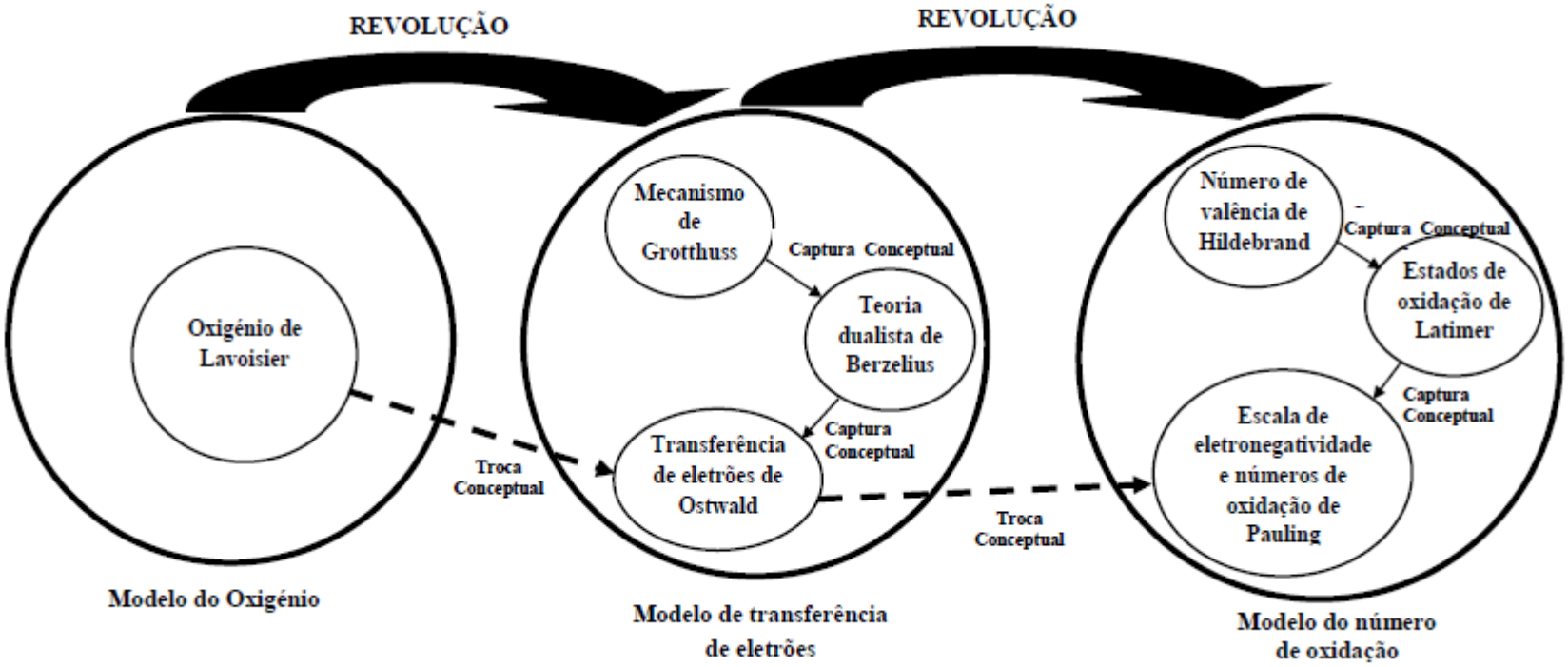


Figura 8. Representação da mudança conceptual por troca e captura no ensino dos modelos de interpretação das reações de oxidação-redução. A captura conceptual ocorre entre teorias dentro de um mesmo paradigma. A troca conceptual ocorre entre paradigmas diferentes e entre teorias de paradigmas diferentes. As setas a tracejado representam a troca conceptual que tentaremos efetuar com os nossos alunos.

Quanto ao modelo *número de oxidação*, as suas assunções incluem a consideração de um conceito formal, que permite explicar as reações de oxidação-redução em compostos covalentes. Esse conceito, o *número de oxidação*, proposto por Latimer, foi desenvolvido por Pauling através da sua escala quantitativa de eletronegatividade. Consideramos, portanto, que o modelo *número de oxidação* se coaduna com um paradigma distinto para a explicação das reações de oxidação-redução, no qual podem também incluir-se as teorias de Hildebrand, Latimer e Pauling.

Iremos, nesta dissertação, fazer opções metodológicas em sala de aula com base em paradigmas diferentes, sucessivamente, tal como está representado na figura 8 pelas setas a tracejado: iniciaremos a nossa abordagem em sala de aula baseando-nos na teoria de Lavoisier, depois na teoria de Ostwald e, finalmente, na teoria de Pauling. Por conseguinte, da interpretação que fizemos do trabalho de Chi, a abordagem que se pretende usar na presente dissertação, baseada na mudança entre teorias consonantes com paradigmas diferentes, inscreve-se no modelo de mudança conceptual por *troca*, na qual o uso de estratégias de conflito cognitivo é imprescindível. Justificaremos, adiante, as razões da nossa escolha por um, de entre os vários modelos existentes de troca conceptual; mas antes, vamos fazer uma breve referência aos fundamentos do modelo de captura conceptual.

2.2.3- A captura conceptual

A mudança conceptual por captura baseia-se na perspetiva da evolução da Ciência por continuidade e não raras vezes, confunde-se com o modelo de ensino tradicional, transmissivo, que vai perdurando nas nossas escolas. Os modelos de captura conceptual caíram em desuso graças ao advento do construtivismo, assim como às teorias de aprendizagem de Piaget e de Ausubel e o MCA parece ter desferido o ‘golpe final’ naqueles modelos.

2.2.3.1- Fundamentação segundo Toulmin

Detenhamo-nos, com a brevidade possível, nos fundamentos da perspetiva da evolução da Ciência por continuidade. Foi Toulmin, filósofo inglês que, em 1972, fundamentou a mudança conceptual e progresso científico como processos cumulativos, contínuos, em oposição às ideias de Kuhn de quem foi contemporâneo. Já antes, Oppenheimer (1953), eminente cientista norte-americano, conhecido por *Pai da Bomba Atómica*, defendia esta posição:

> É essencial da própria noção de cultura e de tradição o haver um aspecto cumulativo na vida do homem. O passado está na base do presente, que restringe e modera e que de certo modo limita e de certo modo enriquece. (…)
> Quando se descobre qualquer coisa nova acerca do mundo natural, isso não substitui o que se conhecia anteriormente; transcende-o, e transcende-o porque estamos num novo domínio da experiência, muitas vezes tornado acessível devido apenas à utilização integral do saber a ele anterior. (…)
> A lei da gravitação de Newton e as suas equações do movimento aplicam-se a imensos âmbitos da experiência física e estão na sua base, e não passaram a ser errados pelo facto de em outras e mais vastas esferas terem de ser substituídas pelas leis mais gerais de Einstein. (…) No progresso da Ciência repete-se constantemente o facto de aquilo que era ontem objecto de estudo, com interesse em si próprio, passa a ser hoje qualquer coisa que se aceita sem discussão, qualquer coisa compreendida e de confiança, qualquer coisa sabida e familiar – um instrumento para posteriores investigações e descobertas. (pp. 29-31)

Este texto de Oppenheimer resume os pressupostos da evolução da Ciência por continuidade: a Ciência é um processo cumulativo; o conhecimento novo constrói-se a partir do anterior que é modificado, ampliado, melhorado; o conhecimento novo não substitui o anterior, é adicionado a este.

Em 1972, Toulmin propôs um modelo de mudança conceptual comparável ao modelo de evolução das espécies de Darwin. Segundo Darwin, os indivíduos que apresentam características vantajosas no meio em que vivem, proliferam e transmitem essas características aos seus descendentes; os indivíduos que não apresentam características adaptáveis ao seu meio não sobrevivem; as características favoráveis são transmitidas por hereditariedade ao longo de sucessivas gerações e tornam-se predominantes na espécie em causa. Atendamos, agora, à analogia proposta por Toulmin. Primeiro, entendamo-nos sobre quais os elementos que sofrerão evolução; para Darwin são as espécies com as suas variações e que se agrupam em populações; para Toulmin (1972) são os conceitos, diversos, numa determinada área científica:

> Em vez de serem introduzidos todos ao mesmo tempo e por inteiro, como um único sistema lógico com um único propósito científico, os diferentes conceitos e teorias são introduzidos numa Ciência de uma forma independente, em momentos diferentes e com propósitos diferentes. Se ainda sobrevivem hoje, deve-se a que ainda servem as suas funções intelectuais originais ou então, porque, desde então, adquiriram outras funções diferentes; e nós somos livres para, no futuro, substituir, alterar ou complementar esses conceitos independentemente uns dos outros, à medida que as nossas legítimas ocasiões científicas o requeiram. Isto significa reconhecer que uma Ciência inteira pode englobar uma população histórica de conceitos e teorias logicamente independentes, cada uma com a sua história, estrutura e implicações próprias e separadas. (p.130)

E a que se deve esta variação de conceitos (uma população de conceitos) numa mesma área científica? Segundo Toulmin (1970), deve-se ao que ele chama *inovação* e *desafio*, próprios da atividade científica e dos cientistas:

> Está sempre em aberto a possibilidade de os cientistas desafiarem a autoridade intelectual do esquema de conceitos fundamental no qual eles trabalham provisoriamente – o direito permanente para desafiar esta autoridade é uma das coisas que marca um procedimento intelectual como sendo científico. (p.40)

É, portanto, a inovação permanente que surge no seio da investigação científica, a responsável pela variação de conceitos e teorias. Estes conceitos são, depois, submetidos a um processo de "seleção crítica", ou seja, são sujeitos ao crivo e ao escrutínio da comunidade científica. O sucesso dos conceitos inovadores dependerá do grau de aceitação por parte da comunidade ou se, no futuro, vier a conquistar progressivamente cada vez mais adeptos, defensores e utilizadores nas sucessivas gerações de cientistas devido às suas vantagens adaptativas- entenda-se maior poder explicativo em relação aos problemas e questões de determinada área científica. A este propósito, Toulmin (1970) refere:

> As teorias aceites em cada estádio [da investigação científica] servem de pontos de iniciação para um grande número de variações; mas no qual apenas uma pequena fração dessas variações sobrevive de facto e estabelece-se no corpo de ideias que passa para a próxima geração. (p.46).

A Tabela 4, resume o paralelismo entre a teoria da evolução de Darwin e a evolução da Ciência segundo Toulmin.

Terminamos esta breve análise salientando que, para Toulmin, a Ciência não se constrói por dramáticas interrupções, mas sim por acumulação e predomínio de determinadas variações de conceitos científicos dentro do período de "Ciência normal". A existência de variações nos conceitos veio a ser confirmada em Educação por vários autores. Por exemplo, Chi (1992) e Mortimer (1995, 2006) referem-se à possibilidade de coexistirem vários significados para o mesmo conceito que são, depois, acedidos em contextos apropriados; Galili e Bar (1992) referem-se ao bom desempenho dos alunos quando respondem a questões que lhes são familiares, relacionadas com os conceitos *força* e *movimento* mas revertem para noções, anteriores a Newton, quando submetidos a novas situações. Scott (1987), ao investigar as ideias dos alunos relacionadas com *matéria*, refere o caso de uma aluna que consegue distinguir claramente o conhecimento

do dia-a-dia do conhecimento científico, mas afirma que o primeiro tem maior utilidade para comunicar com a respetiva família.

Tabela 4

Paralelismo entre a teoria da evolução de Darwin e a evolução da Ciência segundo Toulmin

	Darwin	**Toulmin**
Unidades evolutivas	As espécies agrupadas em populações	Os conceitos científicos agrupados em populações de conceitos relativos a uma área científica
Fatores de evolução	Variações morfológicas	Variações nos conceitos
Causas de variação	Mutações genéticas	Inovação e desafio
Motor da evolução	Seleção natural	Seleção crítica
Transmissão	Hereditariedade das variações vantajosas que se tornam predominantes na espécie	Conquista de adeptos, defensores e utilizadores dos novos conceitos até aceitação generalizada pela comunidade científica

Nota: a Teoria de Darwin aqui referida refere-se a uma visão pós-Darwiniana- o neodarwinismo- já que, à época de Darwin ainda não estavam desenvolvidos temas relacionados com a genética, as mutações e hereditariedade.

Para nós, professores e educadores, as elações a retirar destas evidências da investigação vêm no sentido de reforçar a atenção que devemos dar à possibilidade de coexistência entre conceitos científicos e concepções alternativas nos nossos alunos.

2.2.4- A troca conceptual

Analisaremos, a seguir, alguns dos modelos de troca conceptual que surgiram entre 1982 e 2006. De entre os muitos modelos a que tivemos acesso, os sete que apresentamos são a nossa escolha, baseada em critérios de comparação quer quanto às semelhanças, quer quanto às diferenças entre eles. E as semelhanças residem, principalmente, na presença do conflito cognitivo como promotor da mudança conceptual e na abordagem construtivista. Observaremos que, se nos primeiros

modelos, o conflito cognitivo é evidente, noutros, a sua influência está mais dissimulada e, embora a abordagem construtivista seja comum a todos, nalguns modelos a abundância de elementos construtivistas é mais notória. Notória será, também, a evolução, do ponto de vista da implementação em sala de aula, destes modelos de troca conceptual, desde o quase puro racionalismo do primeiro, em que salientamos uma frieza ao estilo do 'Homem-máquina', até aos modelos mais recentes, com uma natureza mais humanista.

2.2.4.1- O modelo PSHG

A designação *PSHG* refere-se às iniciais dos apelidos dos autores Posner, Strike, Hewson e Gertzog. O modelo PSHG foi desenvolvido nos anos de 1978 e 1979 e publicado em 1982. Foi ampliado em 1981 por Hewson e revisto por Strike e Posner em 1992.

Posner, Strike, Hewson e Gertzog (1982) estabeleceram, no modelo inicial, quais as condições que deveriam concorrer para que acorresse a mudança conceptual:

1) Insatisfação com as concepções existentes. A principal fonte de insatisfação são as anomalias (situações, problemas, fenómenos) não solucionados que faz com que o aluno perca a confiança nas suas concepções. Este é o momento de crise induzido pelo conflito cognitivo.
2) Inteligibilidade do novo conceito. Para que o novo conceito seja inteligível, o aluno terá que compreender os termos e símbolos componentes do conceito e as relações entre eles.
3) Plausibilidade do novo conceito. A plausibilidade tem a ver com a possibilidade de o aluno assimilar o novo conceito sem pôr em causa a sua concepção do mundo. A esta concepção do mundo à qual os conceitos já existentes se referem, os autores designam de "ecologia conceptual", um termo que tomaram "emprestado" de Toulmin (p.213).
4) Fecundidade ou frutificação do novo conceito. O novo conceito torna-se potencialmente significativo para a aprendizagem por parte do aluno se permitir novas abordagens e soluções para os problemas que o conceito antecessor não permitia.

A condição 3) – plausibilidade do novo conceito - poderá revelar-se a mais crítica, já que a sua ausência pode conduzir à rejeição, consciente ou inconsciente, do novo conceito. A plausibilidade inicial de um novo conceito pode ser entendida como uma

medida do ajustamento do novo conceito à ecologia conceptual existente. Posner et al. (1982) referem algumas características que tornam um novo conceito plausível: ser consistente com as nossas assunções fundamentais, ser consistente com outras teorias, conhecimentos e experiências anteriores e ser capaz de resolver problemas de que estamos conscientes.

O mecanismo do modelo PSHG veio a ser explicado por Hewson (1981). O autor começou por considerar que os conceitos têm um determinado estatuto que é definido pela satisfação de uma ou mais das condições referidas anteriormente. Estabelecendo que as concepções alternativas correspondem a CA e os conceitos científicos a CC, então, segundo o autor, o que acontece a CC durante o processo de mudança conceptual depende da resposta a três questões: 1) Qual é o estatuto de CA? 2) Qual é o estatuto de CC? 3) CC pode ser reconciliado com CA? O estatuto de um conceito pode ser considerado como *inteligível*, (mas não plausível nem frutífero), *inteligível* e *plausível*, (mas não frutífero) e *inteligível*, *plausível* e *frutífero*. Faz sentido afirmar que um conceito não pode ser frutífero sem ser plausível, e não pode ser plausível se não for inteligível. Portanto, a resposta às duas primeiras questões, 1) e 2), vai depender de qual, ou quais, das quatro condições referidas atrás- *insatisfação*, *inteligibilidade*, *plausibilidade* e *fecundidade*- são, ou não, satisfeitas por CA e CC separadamente. A questão 3) aponta para uma outra condição inerente a CA e CC: se são ou não *reconciliáveis*. Quaisquer dois conceitos CA e CC são considerados como *reconciliáveis*, apenas, se ambos forem percecionados como inteligíveis. Em adição a esta condição, se CA for plausível, então, CC só pode ser reconciliado com CA, se CC também for plausível. Assim, para que os dois conceitos sejam reconciliáveis, ambos têm de ser inteligíveis e plausíveis.

O modelo apresentado não é estático, ou seja, os resultados das interações entre CA e CC poderão ser diferentes em momentos diferentes, se o estatuto dos conceitos sofrer alteração. Hewson (1981) refere os fatores de que depende a mudança do estatuto dos conceitos: "a força do compromisso que um indivíduo tem com o conceito e o grau de insatisfação que tem com ele." (p.392). Assim, se ocorrer insatisfação com um conceito existente, CA, tal resultará na diminuição do seu estatuto até que, eventualmente, a sua plausibilidade seja perdida e então, o conceito pode sofrer uma troca conceptual. Por outro lado, se ocorrer insatisfação com o novo conceito CC, tal impedirá que esse conceito se torne plausível, o que impede a sua incorporação na

estrutura conceptual. Hewson (1981) oferece-nos um exemplo para melhor entendermos como o estatuto de um conceito pode, ou não, mudar:

> Uma pessoa que esteja a aprender a Teoria da Relatividade [de Einstein] tem que aceitar a relatividade do tempo. Se, contudo, a crença no tempo absoluto for suficientemente forte e os argumentos apresentados para apoiar a relatividade do tempo demasiado fracos, então, a pessoa em questão vai considerar que o conceito existente ainda é plausível, e a única maneira de o novo conceito ser integrado será através de algum processo de reconciliação. (p.394)

A troca conceptual poderá, portanto, ocorrer potencialmente se a insatisfação com um conceito fizer diminuir o compromisso com este, o que resultará numa diminuição do estatuto por perda de plausibilidade.

Hewson (1981) explicita, também, como o modelo PSHG pode explicar a troca das concepções alternativas pelas concepções aceites pela comunidade científica. O autor começa por afirmar que "é necessário assumir que a conformidade com os atuais dogmas aceites por cada disciplina científica é um objetivo curricular que vale a pena atingir" (p.394). Uma vez que esta afirmação poderá ser polémica, o autor apressa-se a explicá-la: "Desde que seja dada a devida consideração à discussão dos ideais metafísicos e epistemológicos que regem a Ciência moderna, o ensino dos conceitos atuais não deve ser visto como uma doutrinação porque a base para uma justificação racional está disponível" (p.395). E qual é essa base disponível? São o conjunto de observações, evidências e experiências que suportam as teorias científicas vigentes e que, segundo Hewson (1981), quando apresentadas aos alunos, constituem as anomalias ou elementos dissonantes que vão despoletar o mecanismo enunciado no modelo PSHG:

> O modelo [PSHG] sugere que, além de apresentar os conceitos desejados [os científicos], o professor precisa de se dirigir às concepções alternativas dos alunos. O propósito expresso de tal intervenção é fazer diminuir o estatuto dessas concepções alternativas de forma a permitir a ocorrência da troca conceptual ou, então, fazer a reconciliação do conceito desejado com os conceitos existentes (na eventualidade de tal ser possível) de modo a facilitar a captura conceptual. Tal como PSHG referiram, o uso de anomalias para realçar o problema das concepções alternativas pode ajudar significativamente a troca conceptual. (p. 395)

Deste modo, as anomalias, as contradições, o conflito cognitivo serão, na sala de aula, os responsáveis pela insatisfação dos alunos com as suas concepções alternativas, de que resultará uma diminuição do estatuto destas concepções, condição necessária para a eventual ocorrência da troca conceptual. O papel do professor torna-se, pois, evidente: o

de "instigador da insatisfação para com as concepções alternativas" (Hewson, 1981, p.396). Assim, o que acontece a um conceito já existente na estrutura cognitiva quando é confrontado com um novo conceito, e que Hewson nos sugere, de acordo com o seu entendimento do que é a mudança conceptual, é que as concepções alternativas são um candidato, e nós acrescentamos, o candidato por excelência, à mudança conceptual por troca.

O modelo PSHG foi criticado por ser muito racional, demasiado mecanicista e cognitivista. Pintrich, Marx e Boyle (1993) fazem uma crítica ao que consideram a sobrevalorização do racionalismo do modelo PSHG num artigo com o título *Beyond Cold Conceptual Change*. Os autores apontam outros fatores de que depende a mudança conceptual: a motivação dos alunos e os seus interesses pessoais, os seus valores e crenças, a gestão da sala de aula e o ambiente de aprendizagem estabelecido, a metodologia de avaliação, a estrutura das atividades desenvolvidas, a ação e motivação do próprio professor, bem como as relações de autoridade existentes em sala de aula e na Escola. Numa alusão aos aspetos cognitivos e racionais, Pintrich et al. realçam que o que há "para além da fria mudança conceptual" são os aspetos motivacionais e de contexto de sala de aula, que também influenciam a mudança conceptual.

Estas críticas foram reconhecidas pelos autores do modelo PSHG na revisão que fizeram. Striker e Posner (1992) esclareceram, nessa revisão do modelo, qual era a sua intenção inicial:

> Pretendíamos aplicar a teoria a conceitos que desempenham um papel gerador e organizador do pensamento. Por conseguinte, estávamos interessados num fenómeno que é análogo à noção de mudança de paradigma de Kuhn (…) Um aprendiz que é capaz de substituir uma visão newtoniana ou aristoteliana do movimento pela visão de Einstein, passou por um tipo de mudança conceptual a que nós nos referimos (…) É importante notar que nós não afirmamos que toda a aprendizagem envolve esta forma de mudança conceptual. (p.148)

Os autores definiram o campo de aplicação da sua teoria, explicitaram o seu quadro de referências, ao reconhecerem que foram fortemente influenciados por Kuhn, ou seja, que o modelo PSHG assenta, principalmente, numa teoria epistemológica de rutura. Referem a influência da volumosa literatura que na altura já existia acerca das concepções alternativas e clarificaram quais os conceitos que deveriam sofrer a mudança conceptual que preconizavam. Segundo Strike e Posner (1992):

> Estas concepções alternativas parecem resistentes à mudança através da instrução (…) Devemos relacionar as concepções alternativas com o tipo de concepções com que a mudança conceptual lida. Portanto, uma concepção alternativa não é apenas um erro nem uma crença falsa. Deve desempenhar um papel organizador da cognição semelhante ao desempenhado pelos paradigmas ou, então, deve depender de tais conceitos organizadores. Por conseguinte, uma concepção alternativa pode tornar-se num candidato à mudança. A teoria da mudança conceptual oferece-nos uma explicação de como essa mudança pode ocorrer. (pp.152-153)

Contudo, Stiker e Posner (1992) nada adiantaram sobre o ambiente de aprendizagem em sala de aula, embora refiram que a "fria mudança conceptual" não era a sua intenção inicial: "Ao descrevermos esta visão de mudança conceptual, não considerámos que estivéssemos a descrever com detalhe uma teoria da aprendizagem que pudesse ser imediatamente aplicada na sala de aula." (Strike e Posner, 1992, p.150). Parece-nos, no entanto, que dadas as características inovadoras deste modelo, uma vez publicado, as tentativas de o ensaiar em sala de aula seriam inevitáveis, mesmo não sendo essa a intenção dos seus autores. O modelo acabou por ser realmente implementado em sala de aula (Jensen e Finley, 1995), como veremos adiante nesta dissertação.

Outra crítica que Strike e Posner (1992) não tiveram em conta na sua revisão prende-se com a analogia estabelecida no modelo PSHG entre as concepções alternativas dos alunos e os antigos paradigmas da História da Ciência. Já anteriormente nos detivemos nos trabalhos de Wandersee (1985) e Carey (1985), que apoiam o uso dessa analogia no que concerne quer aos conteúdos, quer ao mecanismo de mudança entre paradigmas. Contudo, Nussbaum e Novick (1982) referem que esta analogia é parcialmente válida e que, estabelecer um paralelismo geral entre alunos e grandes cientistas do passado poderá ser excessivo, já que as diferenças são inúmeras:

> Essas diferenças referem-se a: idade e capacidade intelectual; repertório de experiências anteriores com os fenómenos naturais; conhecimentos anteriores relevantes; conhecimentos anteriores em outras áreas que providenciam analogias e metáforas para a interpretação de situações problemáticas; a quantidade de tempo e esforço dedicados ao estudo da área de conhecimento a que se refere o problema específico. (p.187)

Assim, segundo Nussbaum e Novick (1982), estas diferenças são relevantes e daí resulta a dificuldade dos alunos em percecionarem as suas concepções alternativas. Considerando, como já anteriormente referimos, que por vezes os alunos mantêm simultaneamente nas suas estruturas cognitivas ambas as concepções, as alternativas e

as científicas, então tal assunção contradiz a ideia de incomensurabilidade dos paradigmas (Kuhn, 2009), em que se baseia o modelo PSHG.

Os modelos de troca conceptual que se abordam a seguir denotam um racionalismo relativamente esbatido. Porém, todos eles mantêm algumas características comuns às do modelo PSHG, entre elas, a necessidade de se introduzir, em alguma fase, as anomalias ou contradições que induzam o conflito cognitivo e assim, favorecer a mudança conceptual por troca.

2.2.4.2- O modelo de Nussbaum e Novick

O modelo de mudança conceptual por troca destes autores apresenta-nos três fases: 1) a exposição das concepções alternativas, 2) criação de conflito cognitivo e 3) o encorajamento da acomodação cognitiva. A figura 9 descreve, esquematicamente, estas três fases.

Na publicação do seu modelo, para além de explicitarem estas fases, Nussbaum e Novick (1981, 1982) apresentam-nos exemplos de lições em que implementaram o modelo em sala de aula, incluindo atividades experimentais, questionários e diálogos professor-aluno. A introdução de anomalias, quer através do diálogo, quer através de experiências laboratoriais cujos resultados contradizem os previstos pelas concepções alternativas, está perfeitamente evidente na segunda fase. Por outro lado, o construtivismo revela-se ao longo de todo o modelo: a aprendizagem em diálogo com o professor e entre pares, bem como o envolvimento dos alunos na sua própria aprendizagem.

2.2.4.3- O modelo de Cosgrove e Osborne

Este modelo de mudança conceptual por troca, publicado em 1985, apresenta 3 fases principais- 1) focalização, 2) desafio e 3) aplicação- que são precedidas por uma fase preliminar preparatória. O modelo tem a vantagem de explicitar claramente qual o papel de cada um dos intervenientes: o professor e o aluno. A tabela 5 apresenta as várias fases deste modelo e as estratégias e processos que os professores e os alunos poderão desenvolver em cada uma delas.

Este modelo apresenta-nos algumas diferenças em relação ao anterior que tem interesse analisar. A explicitação das estratégias e dos processos a desenvolver por cada um dos intervenientes em paralelo – professor e alunos- é uma mais-valia do modelo, bem como a sua abundância e diversificação.

Figura 9. O modelo de mudança conceptual de Nussbaum e Novick.

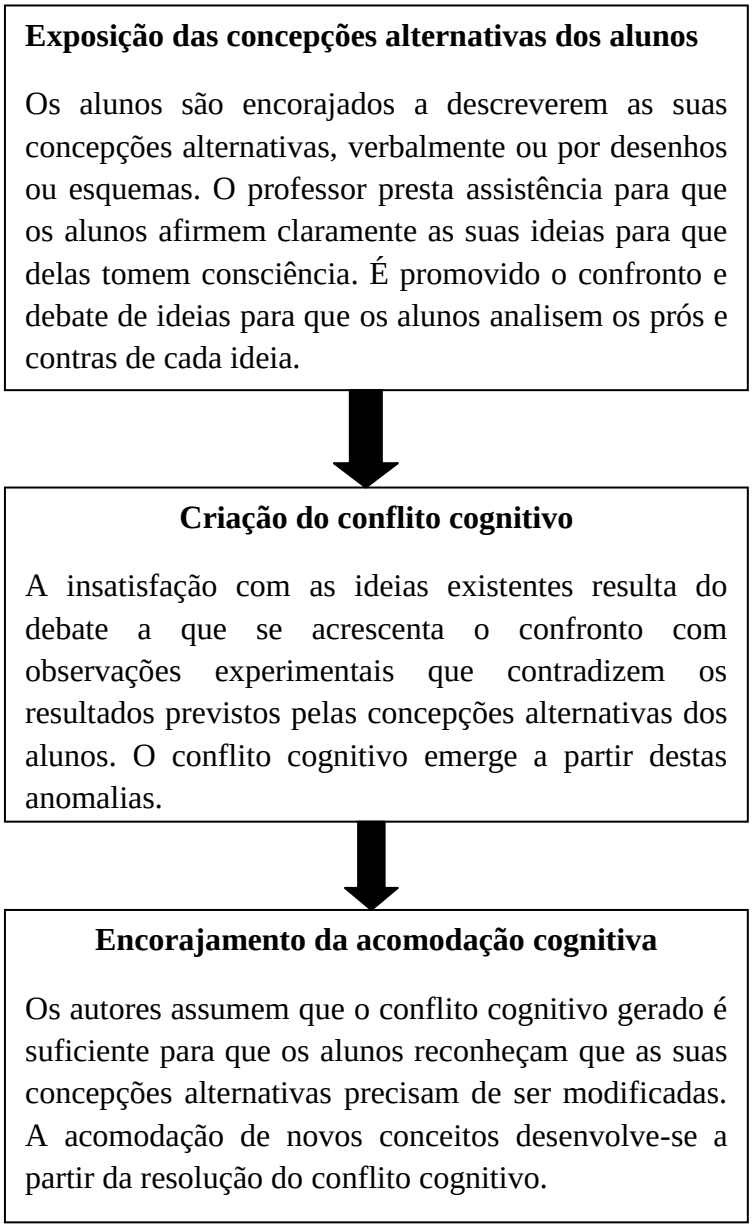


Figura 9. As três fases do modelo de mudança conceptual de Nussbaum e Novick (1981)

Tabela 5.

As fases do modelo de Cosgrove e Osborne

Fase	Atividades do professor	Atividades do aluno
Preliminar	Prevê as ideias dos alunos; procura os conceitos científicos atuais; identifica conceitos históricos já ultrapassados e que possam ser reproduzidos pelos alunos; considera as evidências que conduzam ao abandono dessas concepções históricas.	Realiza atividades de diagnóstico implementadas para revelar as ideias existentes.
Focalização	Estabelece um contexto e ambiente para a aprendizagem. Proporciona experiências motivadoras. Junta-se aos alunos nas atividades, faz questões orientadas. Interpreta as respostas dos alunos. Interpreta e elucida os pontos de vista dos alunos.	Familiariza-se com os materiais utilizados para explorar os conceitos. Pensa no que está a acontecer e faz perguntas relacionadas com os conceitos. Descreve o que sabe sobre os acontecimentos e conceitos. Clarifica a sua opinião sobre os conceitos. Apresenta o seu ponto de vista ao grupo ou turma através da discussão e debate.
Desafio	Facilita o intercâmbio de pontos de visto e assegura-se de que todos são considerados. Mantém a discussão e debate abertos. Sugere demonstrações, se necessário. Apresenta evidências dos conceitos científicos. Aceita as reações naturais dos alunos aos novos conceitos.	Considera os pontos de vista dos outros alunos procurando os méritos e defeitos desses pontos de vista. Testa a validade de pontos de vista procurando as evidências. Compara os pontos de vista dos cientistas com os pontos de vista da turma.
Aplicação	Propõe problemas que possam ser resolvidos de uma maneira simples e inteligível pelo novo conceito. Ajuda os alunos a clarificar o novo conceito. Assegura que os alunos conseguem descrever verbalmente as soluções para os problemas. Participa nas atividades com os alunos, estimula e contribui para a discussão das soluções. Ajuda na resolução de problemas mais avançados; sugere pesquisas e fontes de informação.	Resolve problemas práticos usando os novos conceitos. Apresenta a solução à turma. Discute e debate os méritos das soluções; avalia criticamente estas soluções. Sugere outros problemas a partir das soluções apresentadas.

Nota: adaptado de "Lesson frameworks for changing children's ideas" por M. Cosgrove e R. Osborne, 1985, pp. 109-110, In "Learning in Science" por R. Osborne e P. Freyberg (eds.), 1985, New Zeland: Heinemann

O construtivismo está patente em todas as fases, contudo, ao contrário do modelo anterior, este parece-nos mais aberto por nos apresentar mais oportunidades e caminhos a enveredar para a promoção da mudança conceptual em sala de aula. O conflito cognitivo não está tão explícito, embora o possamos identificar na fase *Desafio*. A última fase do modelo, *Aplicação*, também nos parece mais abrangente. A aplicação e ampliação do novo conceito a novas situações e problemas não só favorece, como também reforça a acomodação, enquanto no modelo anterior, a resolução do conflito cognitivo era, por si só, considerada como suficiente.

2.2.4.4- O modelo de Driver e Oldham

Driver e Oldham, propuseram, em 1986, o desenvolvimento de estratégias de ensino e aprendizagem que encorajassem nos alunos a mudança conceptual por troca. Para tal, segundo as autoras, os alunos deveriam envolver-se em atividades que os conduzissem à construção das ideias científicas por si próprios- é, portanto, um modelo genuinamente construtivista nas suas intenções.

Uma condição importante para o sucesso da implementação deste modelo é a concessão de tempo suficiente para que os alunos partilhem, reflitam, avaliem e reestruturem as suas ideias. O professor não está ausente; a abordagem requer que seja sensível e valorize as concepções alternativas dos alunos, bem como os significados, por vezes inesperados, que estes constroem a partir das atividades e observações; ou seja, o professor é visto como um facilitador e mediador da mudança conceptual, que encoraja a participação ativa do aluno e proporciona, frequentemente, oportunidades para o debate e confronto de ideias que potenciem a autorregulação do aluno- a reflexão individual, ou em grupo é um elemento muito importante numa abordagem construtivista da aprendizagem.

A figura 10 esquematiza as cinco fases deste modelo. A sequência começa com a *orientação*, destinada a motivar os alunos e oferecer-lhes um sentido de propósito e objetivos para a aprendizagem de determinado tópico. Segue-se a *explicitação*, em que os alunos revêm e discutem as suas ideias em pequenos grupos. A fase seguinte, *reestruturação*, inclui diferentes aspetos. Uma vez que as ideias dos alunos 'estão no ar', a *clarificação* e *intercâmbio* ocorrem através da discussão. Deste modo, as ideias dos alunos são desafiadas e expostas às perspetivas, possivelmente discordantes, de outros. Em alternativa, o professor pode incentivar o conflito cognitivo através da introdução de algum elemento dissonante (uma anomalia, uma contradição). A partir da

construção de novas ideias, os alunos passam à *avaliação* de ideias diferentes das suas, que talvez possam incluir os conceitos científicos se eles os tiverem sugerido (caso contrário, poderá o professor sugerir esses conceitos para debate e avaliação); essas ideias poderão ser aplicadas por ensaio através da experiência, ou por análise das suas implicações.

Figura 10. As fases do modelo de Driver e Oldham

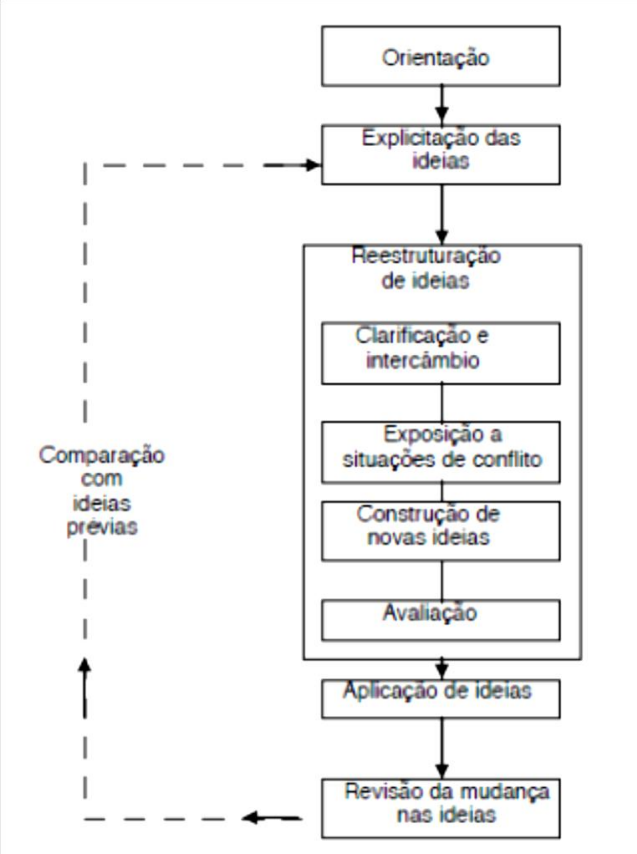


Figura 10. As cinco fases do modelo de Driver e Oldham. Adaptado de "A constructivist approach to curriculum development in science" por R. Driver e V. Oldham, 1986, p.119, *Studies in Science Education*, 13, pp.105-122.

Como resultado, os alunos poderão sentir-se insatisfeitos com as suas concepções existentes e, por conseguinte, estarão recetivos à mudança conceptual. Assim, na fase *aplicação*, é dada aos alunos a oportunidade de usar as suas ideias em várias situações (novas, mas familiares). Ao alargar o contexto de aplicação dos novos conceitos, estes serão consolidados e reforçados.

Na última fase, *revisão*, os alunos fazem uma reflexão de como as suas ideias evoluíram, comparando as ideias atuais com as que tinham anteriormente. Nesta fase, os alunos refletem sobre a sua própria aprendizagem, o que favorece o desenvolvimento de capacidades de metacognição.

Deste modo, o modelo de Driver e Oldham apresenta-nos o conflito cognitivo e os elementos construtivistas comuns aos modelos referidos anteriormente, mas contém diferenças fundamentais; mais concretamente, uma das fases, a última, é verdadeiramente inovadora: o convite à autorreflexão e *revisão* das ideias. Esta fase, destinada a incentivar, nos alunos, a comparação entre as novas ideias e as concepções alternativas, permite um retorno à segunda fase, a *explicação das ideias* e, caso as novas concepções não correspondam ainda às aceitas na comunidade científica, seguir-se-á nova *reestruturação das ideias* (terceira fase) e seguintes. Deste modo, o modelo, apesar de faseado, está dotado de algum dinamismo, com um elemento de reversibilidade que lhe confere um carácter cíclico.

2.2.4.5- O modelo dos *5 És*

O *5 És* é um modelo de mudança conceptual por troca, delineado por Bybee e Landes (1990), que inaugurou a década de 90 em que surgem vários modelos de mudança conceptual abundantes em elementos e características construtivistas.

Cada um dos 5 És refere-se a uma fase do modelo que começa pela letra "E": *Engagement, Exploration, Explanation, Elaboration* e *Evaluation* que aqui vamos traduzir por *Envolvimento, Exploração, Explicação, Elaboração* e *Avaliação*. O *Envolvimento* destina-se a motivar o aluno e comprometê-lo com a atividade de aprendizagem que se vai iniciar. De acordo com os autores, uma atividade de envolvimento deve (1) estabelecer relações entre as novas aprendizagens e as anteriores e (2) focar o pensamento dos alunos nos resultados obtidos nas atividades correntes; os alunos devem estar mentalmente envolvidos nos conceitos, processos ou competências a aprender. Vemos, claramente, nesta fase, as influências de Ausubel – relacionar os novos conhecimentos com os anteriores. Na *Exploração*, os alunos exploram ativamente o ambiente que os rodeia, manipulam materiais ou realizam experiências. A *explicação* pretende ajudar os alunos a entenderem os conceitos que estiveram a explorar. Aos alunos é dada a oportunidade para verbalizarem os conceitos, ou demonstrarem as novas capacidades ou novos comportamentos que adquiriram. Esta fase também permite ao professor introduzir termos formais, definições ou explicações

de conceitos, ou processos. A *elaboração*, assim denominada pelos autores, é antes uma fase de aplicação e ampliação dos conceitos aprendidos a novas situações e problemas. Através da vivência de novas experiências, os alunos desenvolvem uma compreensão mais profunda e vasta dos novos conceitos. Por último, a *avaliação* encoraja os alunos a fazerem uma avaliação da sua aprendizagem e proporciona ao professor uma oportunidade para avaliar o progresso dos alunos. Vale a pena analisarmos a implementação deste modelo proposta por Simões, Queirós e Simões (2004), conforme mostra a figura 11. Embora tenhamos descrito o modelo de uma forma sequencial, tal como nos foi apresentado pelos respetivos autores, aquelas autoras portuguesas têm uma visão cíclica do modelo; consideram que há situações em que se torna apropriado voltar atrás no ciclo antes de prosseguir.

Figura 11. O ciclo de aprendizagem baseado no modelo dos 5 És

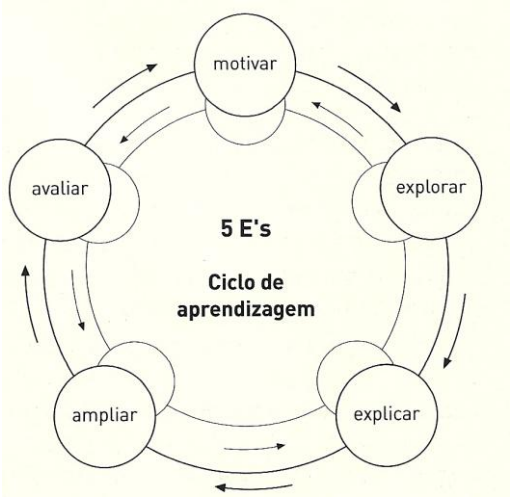


Figura 11. O ciclo de aprendizagem baseado no modelo dos 5 És de Bybee e Landes (1990) em que motivar corresponde à fase de *engagement* e ampliar à fase de *elaboration*. Retirado de "Química em contexto, 11º ano, guia do professor" por T.S. Simões, M.A. Queirós e M.O. Simões, 2004, p. 6, Porto: Porto Editora.

Por exemplo, é frequente ser necessário ocorrerem muitos passos *exploração/explicação* antes de os alunos estarem aptos para avançar para o passo *ampliação* ou *elaboração* (representado na figura 11 pelo sentido duplo das setas); ou então, pode acontecer que durante o passo *elaboração*, o professor considere necessário que o aluno revisite uma atividade de *envolvimento* ou *motivação*. Também é igualmente possível que uma fase

E tenha todas, ou algumas, fases *E's* implícitas. Por exemplo, um passo de elaboração pode bem começar com envolvimento, seguido de breve exploração/explicação e ter implícitas avaliações formativas e sumativas ao longo do percurso – situação representada na figura 11 pelo círculo interior concêntrico. Efetivamente, sendo desejável conceber a avaliação como um processo contínuo, não faz sentido ser remetida apenas para o fim.

Ao dotarem o modelo de características cíclicas de reversibilidade e dinamismo, consideramos que Simões, Queirós e Simões (2004) aproveitaram da melhor forma as potencialidades do modelo original. Contudo, as autoras não nos apresentam nenhum exemplo de atividade experimental, de natureza investigativa, ou de outras estratégias em sala de aula, em que a sua interpretação do modelo dos *5 És* seja visível. Ao invés disso, o modelo é apresentado como uma sugestão metodológica geral, que carece de concretização.

Já Moyer, Hackett e Everett (2007), fiéis ao modelo faseado original, apresentam-nos inúmeros exemplos de atividades experimentais como estratégia a implementar para promover a mudança conceptual por troca. Sendo uma obra norte-americana, consideramos que os exemplos das atividades propostas se adequam ao nosso 3º ciclo do ensino básico e nenhuma delas inclui o tópico das reações de oxidação-redução.

2.2.4.6- O Constructivist Learning Model

O *Constructivist Learning Model* (CLM) foi proposto por Yager em 1993. É constituído por quatro fases: (1) Convite; (2) Exploração; (3) Propostas de explicações e soluções e (4) Ação. A figura 12 apresenta-nos, esquematicamente, estas quatro fases, bem como alguns dos processos que são desenvolvidos em cada uma.

O CLM apresenta algumas características comuns em relação ao modelo dos 5 És: a abundância e variedade de processos com características marcadamente construtivistas. Yager (1993) menciona algumas dessas características: (1) procurar e utilizar as questões, ideias e interesses dos alunos como fios condutores para o desenvolvimento da aula (o que pressupõe alterar, com frequência, a planificação da aula); (2) incentivar a liderança dos alunos, a sua colaboração, procura de informação e tomada de atitudes como resultados do processo de aprendizagem; (3) encorajar a utilização de várias fontes de informação; (4) utilizar questões de resposta aberta e incentivar os alunos a elaborarem as suas próprias questões e respostas; (5) encorajar os

alunos a sugerirem causas e a preverem consequências de fenómenos e situações; (6) encorajar os alunos a testar as suas próprias ideias; (7) procurar as ideias dos alunos antes de apresentar as ideias do professor ou as que vêm descritas nos manuais ou outras fontes; (8) encorajar os alunos a desafiarem as ideias uns dos outros. Usar estratégias de aprendizagem cooperativa que enfatizem a colaboração, o respeito mútuo e incentivem à divisão de tarefas e (9) encorajar a autorreflexão, autoanálise e reformulação das ideias à luz de novas evidências e experiências.

Figura 12. O *Constructivist Learning Model*

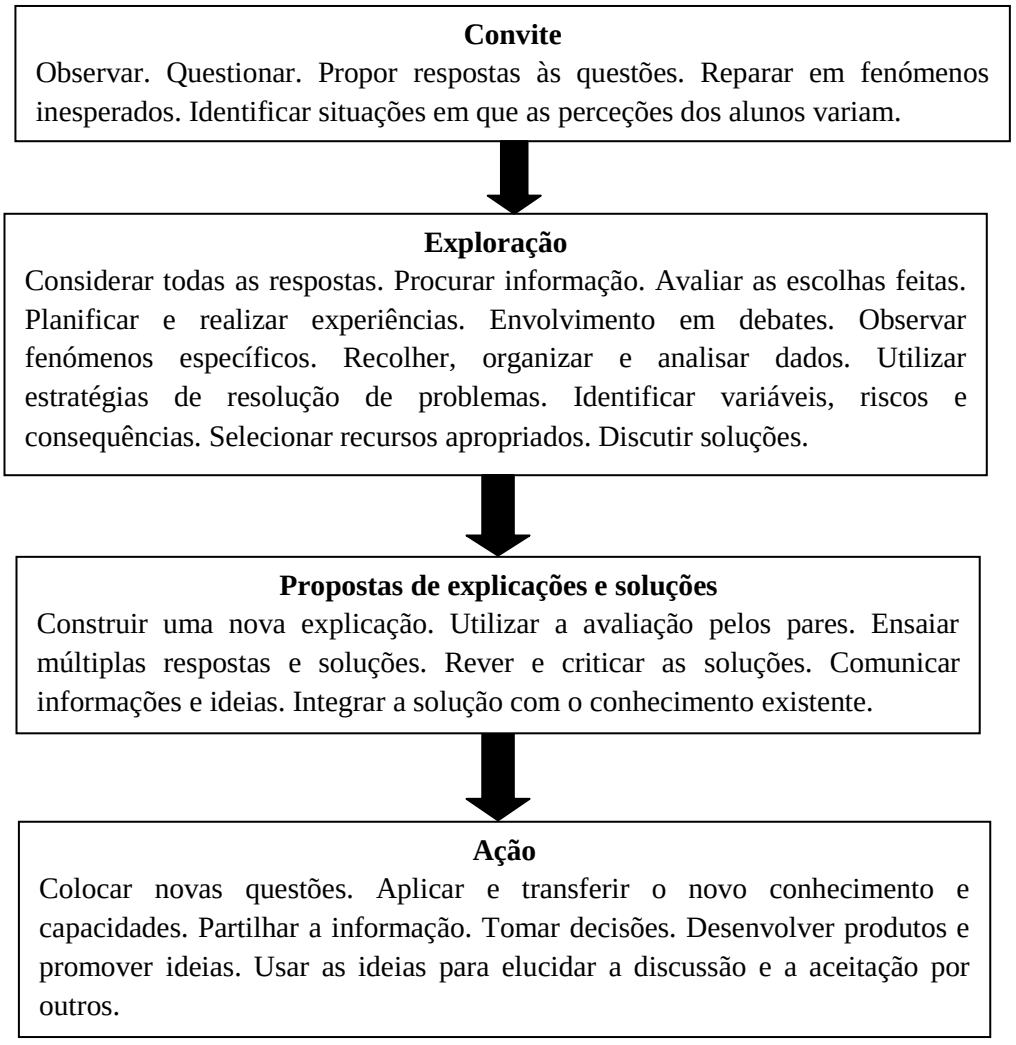


Figura 12. As quatro fases do *Constructivist Learning Model*, de acordo com Yager (1993)

De referir, ainda, que o conflito cognitivo está diluído ao longo das várias fases tanto deste modelo como do referido anteriormente, e a sua presença mantém-se, ainda que de uma forma implícita, ao valorizar-se o debate e confronto de ideias, a autorreflexão e reformulação das ideias face a novas experiências.

2.2.4.7- O *Conceptual Change Model*

O *Conceptual Change Model* (CCM) foi desenvolvido por Schmidt, Saigo e Stepans. Tem sido implementado desde os anos 90, mas só foi publicado em 2006. O modelo desenvolve-se em seis fases: (1) Compromisso com uma posição; (2) Expor as ideias; (3) Confrontar as ideias; (4) Acomodar o conceito; (5) Extensão do conceito e (6) Ir além. A figura 13 apresenta estas seis fases do modelo que passamos a analisar.

O que se pretende com o *Compromisso com uma Posição* é que o aluno tome consciência das suas concepções através da resposta a uma questão, ou da tentativa de resolução de um problema ou desafio colocados pelo professor; tomar consciência das suas próprias concepções significará identificar e explicar as razões que suportam a sua defesa, ou opção por essas concepções. Esta primeira fase é de extrema importância, já que tomar consciência das suas concepções e, em especial, das concepções alternativas, é um requisito fundamental para que o aluno inicie o processo da mudança conceptual por troca. Schmidt, Saigo e Stepans (2006) indicam-nos algumas estratégias para a sala de aula que podem facilitar o compromisso dos alunos com uma posição: identificar e reconhecer padrões, escolher e classificar, comparar e contrastar, prever, estimar, avaliar a razoabilidade de uma posição ou opinião, propor uma explicação, tomar uma posição face a um dilema ou contradição, criar ou interpretar uma analogia e, ainda, sugerir uma estratégia para a resolução de um problema. Os papéis quer do professor, quer dos alunos, estão claramente delineados nesta fase. O aluno trabalha de uma forma independente e ativa para: responder ao desafio colocado; escrever previsões, visões pessoais ou responder às questões; explicar as suas próprias ideias e delas tomar consciência; estabelecer relações com as suas experiências pessoais e reconhecer insuficiências nas suas concepções. Caberá ao professor: propor uma questão ou problema desafiador; criar um ambiente de aprendizagem seguro, convidativo e amigável e conceder tempo aos alunos para refletirem e escreverem sobre o desafio. É compreensível que os alunos coloquem algumas reservas em se comprometerem, por escrito, com as suas ideias. Esta relutância poderá dever-se ao receio de cometer erros.

Figura 13. O *Conceptual Change Model*

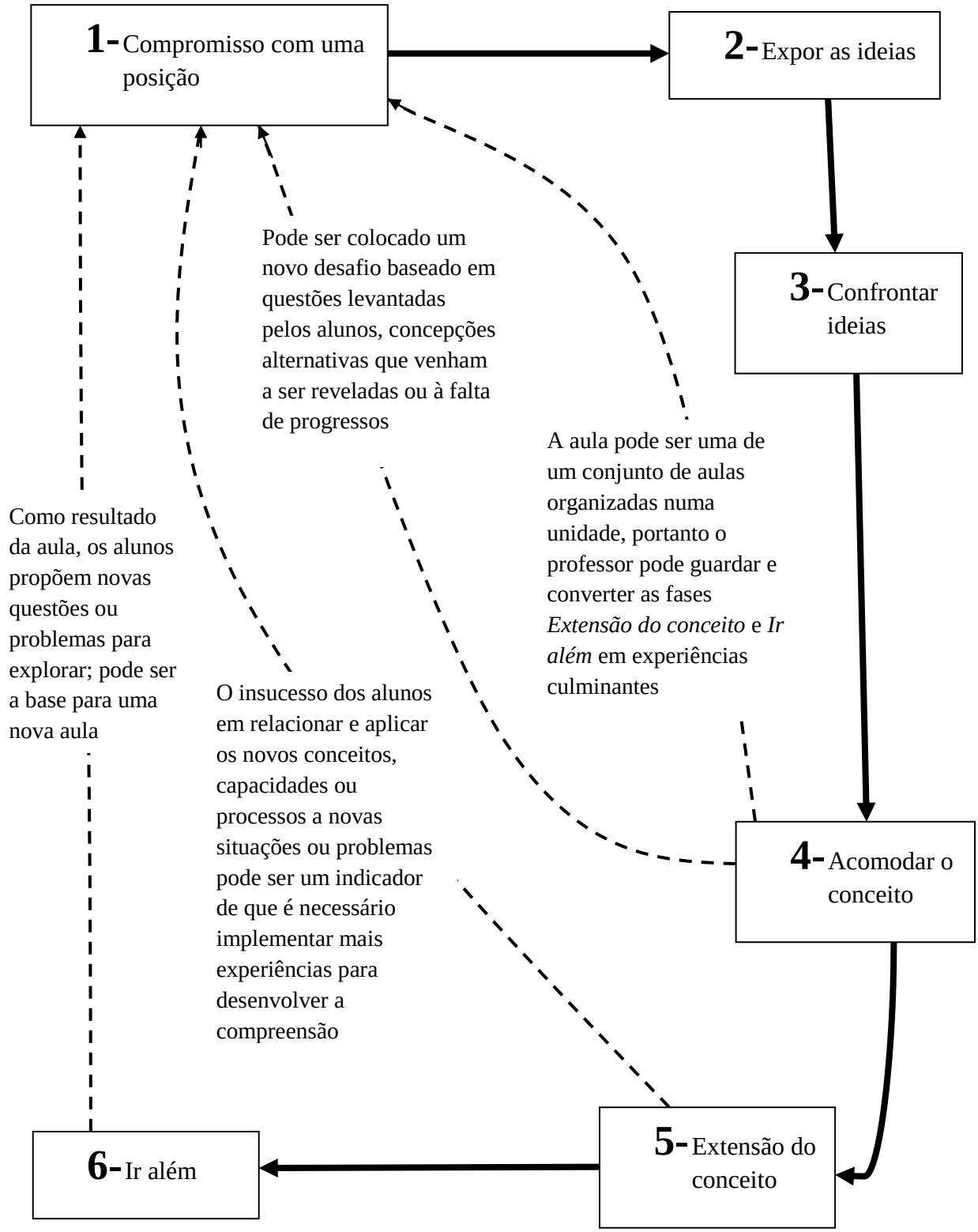


Figura 13. As fases do CCM e a sua estrutura dinâmica. Adaptado de "Conceptual Change Model: the CCM handbook" por D.L. Schmidt, B.W. Saigo e J.I. Stepans, 2006, p. 21, USA: Saiwood Publications

É importante que os alunos entendam que o professor não vai avaliar as suas respostas, nesta fase. O *Compromisso com uma Posição* é, uma fase fulcral do CCM, já que, ao contrário dos modelos anteriores, não se destina, apenas, a conseguir o envolvimento do aluno pela motivação. Comprometer e responsabilizar o aluno para com uma concepção implica que dela tome consciência e que a defenda como sendo sua através da argumentação ou experimentação; o aluno estará então, preparado para, nas fases seguintes, enfrentar o conflito cognitivo e percorrer o processo da mudança conceptual.

Os autores sugerem também comportamentos que o professor deve evitar a fim de atingir os objetivos desta primeira fase: colocar muitas questões ou demasiado longas; colocar questões de baixa exigência ou meramente factuais; direcionar o pensamento dos alunos para uma determinada resposta ou insinuar que o professor procura determinada resposta ou raciocínio; sugerir que as respostas devem ter determinadas informações ou conteúdos; colocar questões que não se relacionam diretamente com os conceitos que se vão estudar; responder às questões e criticar ou escalonar as respostas dos alunos.

Na fase *Expor as Ideias,* os alunos são encorajados a partilhar as suas ideias e a ouvir as dos outros, sem receio de não saberem a resposta correta. Apesar de as ideias e opiniões dos alunos serem diferentes das do professor e dos livros ou manuais, é desejável que os alunos estejam conscientes de que as suas ideias são valorizadas e consideradas importantes pelo professor e todos os colegas. Os alunos devem ouvir respeitosamente sem fazer julgamentos, críticas destrutivas ou repelir, agressivamente, qualquer uma das ideias apresentadas. Inicialmente, os alunos irão dirigir as suas ideias para o professor mas, à medida que se sintam mais confortáveis com a partilha, começarão a interagir com maior frequência, pedindo mais explicações aos colegas, desafiando as ideias uns dos outros, o que resultará em debates motivantes. Estas, são atividades intelectuais saudáveis, desde que conduzidas de uma forma respeitosa. Os alunos deverão estar conscientes de que não se procura um consenso nesta fase, e que poderão mudar de ideias. Mais tarde, terão a oportunidade de autoavaliar a qualidade das suas reflexões e de rever as suas posições, à medida que trabalham com materiais, colaborem entre si e recolhem novas informações. Várias são as estratégias que se podem usar nesta fase: em turmas grandes, podem-se formar grupos de debate e um porta-voz apresentará as ideias do grupo; pode-se criar uma lista de ideias e raciocínios de cada aluno; fazer uma tabela de duas colunas em que se listam as ideias e as correspondentes justificações; desenhar figuras ou diagramas para representar as

diferentes ideias. Qual o papel do professor nesta fase? Principalmente, será o de moderador e gestor do ambiente de aprendizagem; ou seja, será desejável que o professor: permita a todos os alunos, ou grupos, a partilha das suas opiniões e ideias; encoraje os alunos a respeitarem as ideias dos colegas sem efetuarem críticas depreciativas; peça explicações aos alunos por forma a clarificar as suas ideias quando lhes faltar clareza e explicitação; dê aos alunos oportunidade para mudarem as suas ideias; identifique as concepções alternativas dos alunos para mais tarde as trabalhar; anote e sumarize as respostas dos alunos sem emitir juízos. É importante que, nesta fase, o professor mantenha uma posição neutral. Um elogio, ou repreensão, poderão ser, igualmente, destrutivos e inibir a participação dos alunos. Tal como na fase anterior, esta fase permite ao professor contactar com maior proximidade com as ideias e visões dos alunos e, como já referimos, identificar possíveis concepções alternativas. Estas são informações valiosas para a planificação de aulas posteriores. Mas é, também nesta fase, que o professor se aperceberá de uma característica da personalidade dos alunos necessária para o sucesso da mudança conceptual por troca: o seu maior ou menor grau de abertura para considerarem ideias diferentes das suas.

Na fase de *Confrontar as Ideias,* pretende-se que o aluno avalie se as suas ideias fazem, ou não, sentido. Para tal, os alunos são colocados num ambiente que ativamente desafie as posições que assumiram na fase de *Compromisso com uma Posição* e partilharam na fase de *Expor as Ideias*. Esta é a fase da promoção do conflito cognitivo, da introdução de elementos dissonantes, de indução do desequilíbrio e procura do equilíbrio. Nesta fase, o professor deverá monitorizar a forma como o aluno realiza a auto-mediação, providenciando orientação. Surgirão dúvidas, perguntas «como?» e «porquê?», surgirá insatisfação, frustração e irritação. É um bom sinal: as concepções alternativas do aluno perdem estatuto. Os autores do modelo enumeram várias atividades que podem ser implementadas para a indução do conflito cognitivo: leitura e análise de textos, questões de resposta aberta, resolução de problemas, experiências laboratoriais conduzidas pelos alunos ou estudos de campo, comparar e contrastar, jogos de estratégia, escrita de artigos de investigação, organizadores gráficos desenvolvidos pelos alunos (de que os mapas conceptuais são um exemplo), realização de inquéritos, fazer classificações, realizar simulações, estabelecer padrões.

A fase *Acomodar o Conceito* é a fase de reequilibração, após a dissonância cognitiva. Através da resolução de conflitos, os alunos têm a oportunidade de rever e alterar a sua estrutura cognitiva de uma forma que incorpore as novas informações e

experiências vividas. Para tal, segundo os autores do modelo, as estratégias mais adequadas a ser desenvolvidas com os alunos são: participar e preparar discussões e debates, desenvolver procedimentos e teorias, apresentar e interpretar dados em tabelas ou gráficos, desenvolver diagramas e esquemas, fazer uma apresentação, explicar uma solução ou estratégia e resumir. É, também, uma fase em que o professor pode disponibilizar novos conceitos e vocabulário apropriado. E apesar de ser uma fase maioritariamente colaborativa, não nos devemos esquecer de que a *acomodação* é um processo eminentemente individual, pelo que o professor deverá proporcionar algumas atividades a serem realizadas individualmente. Escrever uma explicação, um diagrama ou esquema, poderão ser alguns exemplos dessas atividades. Com alguma frequência, o professor observará que o aluno está preso a um fator ou características particulares que obstaculizam o pleno entendimento de determinado conceito. Poderá, então, ser útil voltar atrás no modelo, e colocar novas questões ou situações para os alunos trabalharem antes de avançarem para as duas últimas fases. Este processo de voltar atrás à fase inicial do modelo, a que os autores chamam *looping back*, está evidenciado na figura 13. É, também, uma forma de lançar novos desafios e experiências que reforçam os conceitos, e confrontar novas concepções alternativas que se tenham revelado. Realisticamente, não é expectável que todos os alunos consigam resolver todos os seus conflitos cognitivos, nem ao mesmo tempo. A fase seguinte – *Extensão do Conceito*- irá ajudar mas, mesmo assim, alguns alunos sairão da sala de aula com conflitos não resolvidos. Os professores poderão considerar esta situação desconcertante mas Schmidt, Saigo e Stepans (2006) consideram-na aceitável; referem que "sair da sala de aula com questões por responder ou conflitos por resolver é diferente de sair da aula com concepções alternativas" (p.84). Concordamos inteiramente e reforçamos que a dúvida dos alunos para com as concepções alternativas é preferível à certeza; tal como referimos, induzir a insatisfação do aluno para com as suas concepções alternativas e consequentemente, diminuir o estatuto destas, é condição necessária para promover uma mudança conceptual bem-sucedida.

Na fase de *Extensão do Conceito* os alunos farão conexões entre as novas informações e as suas aprendizagens anteriores; ou seja, procurarão aplicar os novos conceitos a situações quotidianas por si vividas, ou a outros assuntos estudados anteriormente. Os autores recomendam algumas estratégias: pedir aos alunos que apresentem exemplos familiares do conceito em estudo, que façam uma lista de situações em que o conceito é aplicado, que esbocem um mapa de conceitos, que

ilustrem as relações entre os conceitos e diferentes áreas e que indiquem profissões em que os conceitos e metodologias em estudo sejam utilizados. Nesta fase, está explícita a aplicação da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, em que o aluno relaciona o novo com os conhecimentos anteriores. E, embora os autores deem predominância aos exemplos e situações apresentadas pelos alunos, não vemos inconveniente em que o professor acrescente algum outro exemplo, ou relembre determinado assunto estudado em aulas anteriores em que o novo conceito encontra aplicações. Caso os alunos revelem dificuldades em estabelecer as relações solicitadas ou estabeleçam relações não plausíveis entre esses assuntos e os novos conceitos, tal poderá ser um indicador, para o professor, da necessidade de efetuar o *looping back* para as fases anteriores (conforme ilustra a figura 13), de forma a levar os alunos a reforçar ou clarificar as novas aprendizagens.

Por fim, uma aula baseada no modelo CCM começa e termina com um desafio que poderá iniciar de novo o ciclo do modelo (figura 13). Na fase *Ir Além* os alunos são encorajados a procurar novas questões ou problemas, para eles desconhecidos até então, que possam estar relacionados com os conceitos aprendidos. É, maioritariamente, a fase das hipóteses colocadas pelos alunos que precisarão de ser ensaiadas através da experimentação e pesquisa de mais informação. Apesar de as fases do modelo estarem a terminar, o assunto estudado não estará encerrado, e poderá continuar para onde o interesse e curiosidade dos alunos os levar.

De salientar que esta última fase do modelo CCM, pode proporcionar excelentes oportunidades para atividades a serem desenvolvidas como extensão de sala de aula, já que a disponibilidade de tempo é uma condição importante para o sucesso da mudança conceptual. Nem todas as novas questões levantadas pelos alunos poderão ser tratadas em sala de aula, principalmente, se forem em grande número. A propósito da gestão do tempo, Schmidt, Saigo e Stepans (2006) referem:

> Como nos dizem os professores, parece que nunca há tempo suficiente para fazer tudo o que eles gostariam de fazer durante uma aula. Quando o tempo é um problema, o professor pode pedir aos alunos para completarem a fase *Ir Além* em casa, pedindo-lhes que despendam tempo a refletir nas suas experiências e que escrevam questões que eles sintam que valham a pena investigar. (p.102)

Como já nos referimos, atendendo às finalidades da nossa dissertação, optámos pelo modelo CCM como *framework* para desenvolver e implementar estratégias em sala de aula que conduzam à mudança conceptual por troca de conceitos relacionados com

as reações de oxidação-redução. Porquê a escolha deste modelo e não de outro? Reconhecemos que, por vezes, vacilámos e considerámos a possibilidade de implementar estratégias com base no modelo dos 5 És, recorrendo à interpretação proposta por Simões, Queirós e Simões (2004). Com efeito, ambos os modelos estão dotados de um carácter cíclico e dinâmico muito vincado, são de natureza construtivista e fornecem amplas oportunidades para a promoção do conflito cognitivo. Três diferenças entre estes dois modelos, foram, contudo, decisivas na nossa opção:

1- Desde já a primeira fase, que no CCM não se destina apenas a motivar e captar o interesse e atenção dos alunos. Pareceu-nos vantajoso comprometer e responsabilizar os alunos pelas suas concepções, assumindo-as, para mais facilmente estarem preparados, nas fases seguintes, para alterar essas ideias ou considerar outras.
2- A última fase do modelo CCM também nos pareceu vantajosa. Quanto mais um aluno aprende sobre determinado assunto, mais questões levanta; e as respostas não são o fim mas sim, o começo para novas questões, novas ideias e compromisso com estas.
3- A terceira razão para a nossa opção ter recaído sobre o modelo CCM trata-se da forma de avaliação proposta pelos autores deste modelo, muito mais explícita do que no modelo dos 5 És. A avaliação, predominantemente formativa, bem como a auto monitorização das aprendizagens, deverão ser contínuas e realizadas ao longo de todas as fases de implementação do modelo e não tem, necessariamente, que ser realizada num momento único, no fim de um tema ou unidade didática.

Em suma, consideramos que o modelo CCM é aquele que serve melhor o nosso propósito de que os alunos passem por um processo de conflito cognitivo relativo às reações de oxidação-redução através da introdução de elementos dissonantes, que potencialmente promovam a mudança conceptual por troca.

2.2.5- Dificuldades na promoção do conflito cognitivo.

Quer no modelo CCM quer nos restantes modelos de troca conceptual, a ocorrência do conflito cognitivo é uma condição necessária para uma mudança conceptual bem-sucedida.

A promoção do conflito cognitivo é, portanto, uma fase crítica nos modelos de mudança conceptual por troca. Efetivamente, vários são os relatos publicados de

investigações em que o conflito cognitivo promovido em sala de aula não foi bem-sucedido, ou, é apenas parcialmente conseguido. Por exemplo, Niaz (2001), depois de implementar uma estratégia de conflito cognitivo suportada na resolução de problemas para promover a mudança conceptual no tema *equilíbrio químico*, sugere que "ao usarem estratégias de resolução de conflitos, os estudantes aceitam e explicam os dados dissonantes mas, parece que mantêm as hipóteses centrais (o núcleo duro) das suas concepções alternativas" (p. 210); e também Limón (2001), que nos apresenta uma revisão de alguns casos de insucesso e questiona-se se as estratégias baseadas no conflito cognitivo terão sido eficientes para se conseguir a mudança conceptual. Esta autora aponta, ainda, uma das causas principais que explica algum do insucesso na implementação de estratégias de mudança conceptual baseadas na promoção do conflito cognitivo: a falta de significado que o conflito cognitivo assume para o aluno. Que quer isto dizer? Que um professor pode considerar que um conjunto de dados ou eventos são claramente contraditórios relativamente às concepções alternativas dos alunos, mas estes não têm a mesma perceção acerca desses dados e, por conseguinte, não sentem a necessidade de mudar as suas concepções ou então, como afirmam Chinn e Brewer (1993), "os alunos, frequentemente, encontram maneiras de desacreditar os dados contraditórios para protegerem as suas ideias." (p.3)

Temos portanto, todo o interesse em conhecer quais os comportamentos dos alunos face a dados contraditórios. Tais comportamentos dependerão, em grande medida, da forma como os dados são apresentados aos alunos e aqui, o professor terá um papel fundamental. Chinn e Brewer (1993) apresentam-nos um extenso trabalho de identificação e caracterização dos diferentes tipos de respostas dos alunos quando confrontados com dados contraditórios. Segundo estes autores, são sete esses tipos de resposta:

1) Ignorar os dados contraditórios;
2) Rejeitar os dados contraditórios;
3) Excluir os dados contraditórios do domínio das suas concepções;
4) Manter os dados contraditórios em suspensão e adiar a sua explicação;
5) Reinterpretar os dados contraditórios mas manter as suas concepções;
6) Reinterpretar os dados contraditórios e efetuar modificações superficiais às suas concepções;
7) Aceitar os dados contraditórios e mudar as suas concepções alternativas em favor dos conceitos científicos.

Ao ignorar os dados contraditórios, o aluno nem sequer tenta explicá-los; as concepções alternativas poderão estar tão enraizadas, que induzem a inobservância de quaisquer dados discordantes. Caso diferente é o da rejeição, em que o aluno tem consciência dos dados discordantes e dá uma explicação para a sua rejeição. Nas explicações mais frequentes, os alunos fazem referência a erros metodológicas na obtenção dos dados, a variações aleatórias irrepetíveis ou simplesmente, não atribuem credibilidade nem seriedade aos dados contraditórios. Na exclusão dos dados contraditórios, os alunos consideram que estes estão fora do domínio de explicação das suas concepções. Este comportamento deve-se a que os alunos, e muitas vezes também nós professores, temos uma visão demasiado compartimentada da Ciência que poderá dar origem a formas de exclusão de assuntos ou temas. Todos nós nos habituámos ao currículo que define temas específicos da Física, da Química e da Biologia que, embora possam ser abordados transversalmente, o são geralmente numa perspetiva díspar. Assim, por exemplo, durante uma aula de Química, um aluno que manifeste determinada concepção alternativa e face a dados experimentais que a contradigam, poderá considerar que esses dados são do domínio de outra disciplina e não os tomar em consideração. A explicação dos dados contraditórios por parte dos alunos não ocorre, necessariamente, de forma imediata, mesmo quando o aluno reconhece a contradição dos dados face às suas concepções. O aluno considerará que a dificuldade em providenciar uma explicação para os dados dissonantes se deve a uma sua incapacidade pessoal, mas não à insuficiência ou inadequação do quadro de referências. Como resultado, o aluno 'suspende' mentalmente os dados contraditórios e adia a sua explicação para mais tarde. Este comportamento revela que, apesar de o aluno reconhecer as contradições, ainda não está disponível para abandonar as suas concepções alternativas. E mesmo que ultrapasse a sua auto alegada incapacidade para providenciar uma explicação, as suas convicções são de tal forma fortes, que irá protelar essa explicação que crê vir a ser bem-sucedida para mais tarde, algures no futuro sem, contudo, se comprometer com um momento específico. Na reinterpretação dos dados contraditórios, o aluno aceita esses dados como algo que deve ser explicado pelas suas concepções alternativas. Mas, ao invés de abandonar as suas concepções de forma a explicar os novos dados ou eventos dissonantes, o aluno faz precisamente o inverso: reinterpreta, altera ou perceciona os dados de forma a serem explicados e a encaixarem nas suas concepções. A reinterpretação dos dados pode, ainda, conduzir a uma modificação menor nas concepções alternativas; Chinn e Brewer (1993) chamam-lhe "modificação periférica",

já que os alunos mantêm o núcleo duro e fundamental das suas concepções alternativas. Um exemplo é o estudo de Vosniadou e Brewer (1992), que investigaram as concepções alternativas de alunos do primeiro ciclo acerca da forma da Terra; no final do estudo, os autores verificaram que os alunos concederam alguma esfericidade à Terra, mas não abandonaram de todo a concepção alternativa de uma Terra plana pois passaram a considera-la com uma forma de disco ou esfera oca. Finalmente, o reconhecimento, por parte do aluno, da inadequação das suas concepções para a explicação dos dados contraditórios, é o único tipo de comportamento que conduz à mudança conceptual.

Urge, agora, uma resposta à seguinte questão: como é que nós, professores, podemos prevenir ou corrigir os comportamentos referidos face a dados contraditórios, que impedirão o surgimento do conflito cognitivo? Chinn e Brewer (1993) dão-nos algumas sugestões. Uma delas é o aumento da credibilidade dos dados contraditórios segundo a perspetiva do aluno. E isso pode ser conseguido de várias formas. Sem condescendência para com a nossa profissão, não temos dúvida em afirmar que parte da credibilidade dos dados contraditórios dependerá da confiança que o professor transparecer para o aluno em sala de aula; em última análise, dependerá da própria credibilidade do professor aos olhos dos alunos. Essa credibilidade é muito subjetiva à apreciação feita pelo aluno mas está, contudo, alicerçada nas competências pessoais, sociais e enquanto profissional da Educação manifestadas pelo professor. Outra forma de aumentar a credibilidade dos dados contraditórios é recorrer à História da Ciência que, mais uma vez, se revela de grande utilidade. Como? Referindo cientistas de reconhecida competência e importância para a Ciência; reproduzindo, em sala de aula, experiências ou atividades realizadas por esses cientistas; utilizando argumentos semelhantes aos que por eles foram utilizados; apresentando as controvérsias e dilemas que os seus trabalhos suscitaram. Está descrita na literatura como forma de reforçar e induzir o conflito cognitivo, a utilização de textos refutativos e argumentativos (Guzzetti et al., 1993; Dole, 2000; Çakir et al., 2002, Canpolat et al., 2006), bem como a importância que se deve atribuir às controvérsias e contradições para o ensino das ciências (Niaz et al., 2002; Niaz, 2010).

Mas a forma de aumentar a credibilidade dos dados que consideramos fundamental, sem qualquer menosprezo pelas outras, é serem os próprios alunos a obterem e constatarem esses dados contraditórios por via experimental pois são as atividades experimentais de natureza investigativa que potenciam, em maior extensão, a mudança conceptual. A investigação tem vindo a suportar esta afirmação. Veja-se, por

exemplo: Brown e Clement (1992), que analisaram o efeito das atividades experimentais na mudança conceptual relativa a conceitos de mecânica; Rowell e Dawson (1983), que se questionaram sobre como reagiam os alunos quando, ao realizarem atividades experimentais, se viam confrontados com resultados contraditórios com os que tinham antecipado relativamente ao conceito de densidade. Lazarowitz e Tamir (1994) enumeraram quais os objetivos a serem atingidos pela utilização de atividades experimentais no ensino das ciências e, entre vários, referem a mudança conceptual: "o laboratório é um local em que os estudantes de ciências interatuam com as suas concepções e ao mesmo tempo desenvolvem novos conceitos. (…) O laboratório pode oferecer as condições e meios para criar o conflito conceptual que irá induzir a mudança conceptual desejada." (pp. 99-100). Lunetta, Hofstein e Clough (2007), num trabalho de revisão sobre a utilidade, metodologia e investigação acerca da utilização de atividades experimentais com os alunos referem algumas vantagens dessas atividades como por exemplo, o desenvolvimento conceptual, aumento da capacidade de argumentação através da análise de dados experimentais e o aumento do interesse e motivação dos alunos, entre outras, que consideramos favorecerem e potenciarem a mudança conceptual. Mais recentemente, Hofstein e Kind (2012) afirmaram que as "observações no laboratório são usadas para desafiar as ideias dos alunos e para ajudarem a desenvolver explicações em linha com as teorias científicas corretas." (p.194). Assim, nesta dissertação, também desenvolvemos atividades experimentais com os alunos por as considerarmos insubstituíveis na promoção da mudança conceptual em Química.

Outras formas de aumentar a credibilidade dos dados contraditórios são a utilização de métodos de recolha e análise de dados próximos dos usados na investigação científica, de modo a que o aluno não coloque em causa a metodologia seguida. Também a repetição da recolha dos dados, bem como a realização de atividades diferentes, que confirmem a contradição, poderá enfraquecer ou evitar o argumento da aleatoriedade.

Mas mesmo sendo credíveis, os dados contraditórios poderão ser sujeitos a interpretações afetadas de ambiguidade. Na análise dos dados, deve tornar-se evidente a clara natureza contraditória das concepções alternativas e o suporte inequívoco dos conceitos científicos.

Sendo o conflito cognitivo um processo eminentemente pessoal, a sua identificação não se afigura fácil. A questão de como é que sabemos se os alunos,

efetivamente, passam por um processo de conflito cognitivo é algo que vem a ser estudado desde que Piaget estabeleceu a sua *teoria da equilibração* nos anos 70. Desde então vários estudos têm surgido no sentido de identificarem comportamentos decorrentes de um conflito cognitivo em curso. Alguns desses comportamentos incluem: frustração, raiva, cólera, ira, receio, espanto, culpa, embaraço e ansiedade (Festinger, 1975); tensão, desassossego, mal-estar e desconforto (Zimmerman e Blom, 1983); reconhecimento de uma situação dissonante, manifestação de interesse ou ansiedade na resolução do conflito cognitivo e envolvimento na avaliação e apreciação cognitiva da situação (Lee et al., 2003). Zimmerman e Blom (1983) referem, ainda, outro comportamento que apelidam de *response latency*, caracterizado pelo retardamento da resposta a uma questão devido à incerteza e hesitação causadas pelo conflito cognitivo.

Outra situação que também nos parece necessária assegurar para promover, com sucesso, o conflito cognitivo, é que este seja percecionado como resolúvel pelo aluno. O que queremos dizer é que não basta que o aluno reconheça e identifique uma situação de conflito cognitivo, esta é uma condição necessária, mas não suficiente para a sua resolução. É preciso que o aluno domine conceitos, detenha capacidades e competências, disponha das informações e dos recursos necessários para enfrentar, com previsível sucesso, os desafios colocados por uma situação conflituante. Consideramos que, quer a inexistência do conflito cognitivo, quer a existência de um conflito cognitivo não resolvido, são igualmente contraproducentes já que conduzirão a um maior enraizamento das concepções alternativas e ao insucesso da mudança conceptual que pretendemos.

Justifica-se assim, ser o conflito cognitivo a fase crítica de um modelo de mudança conceptual por troca, entre eles o Conceptual Change Model e, sendo um processo psicológico e pessoal, a sua identificação, em sala de aula, dependerá, a nosso ver, da sensibilidade do professor.

2.2.6- Considerações finais acerca da mudança conceptual

Como síntese, em relação aos mecanismos da mudança conceptual, concebemos uma representação das diferentes alterações sofridas pelos conceitos inerentes à mudança conceptual que se apresenta na figura 14: os círculos negros representam os conceitos, os retângulos a estrutura cognitiva e a silhueta humana, o sujeito aprendente.

Figura 14. As alterações sofridas pelos conceitos durante a mudança conceptual

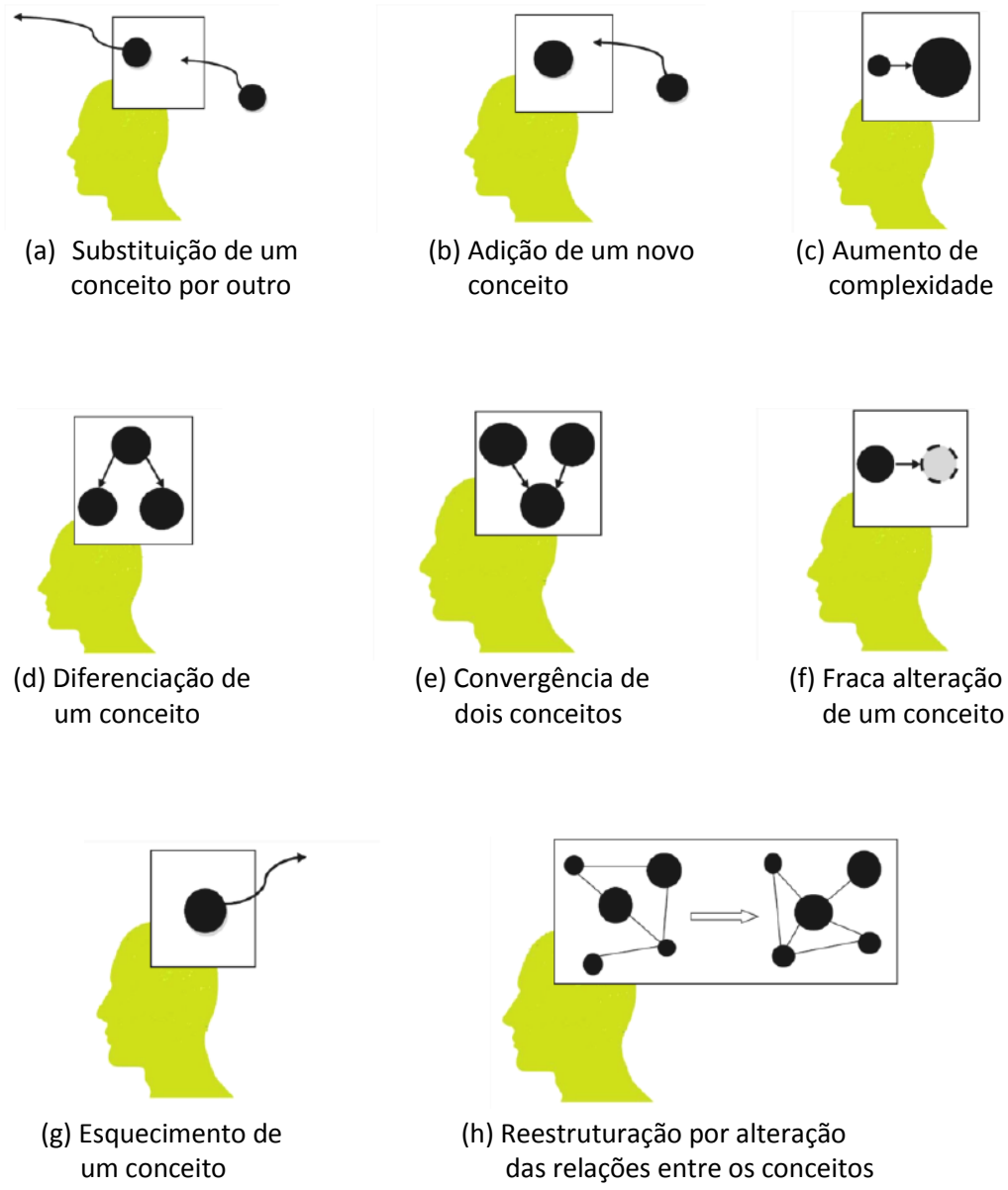


Figura 14. Diferentes alterações sofridas pelos conceitos durante a mudança conceptual: (a) substituição; (b) adição ou enriquecimento; (c) complexificação; (d) diferenciação ou divergência; (e) unificação ou convergência; (f) "mudança periférica"; (g) eliminação ou esquecimento; (h) reestruturação.

A figura 14 (a) representa a mudança conceptual por troca, em que um conceito é abandonado e outro toma o seu lugar na estrutura cognitiva do sujeito; esta situação é característica da mudança conceptual por troca, em que as concepções alternativas são substituídas pelos conceitos científicos. A figura 14 (b) representa a mudança conceptual por captura, em que um novo conceito é acrescentado à estrutura cognitiva. Na figura 14 (c) observamos a crescente complexificação de um conceito, quer por aumento do seu poder explicativo, quer por ampliação dos seus contextos de aplicação; é uma alteração de conceitos também conotada com a captura conceptual. A figura 14 (d) representa a diferenciação de um conceito inicial em conceitos mais específicos, como por exemplo a distinção entre velocidade média e velocidade instantânea feita por Galileu (Carey, 1985, 1992, 2009). Na figura 14 (e) representa-se, inversamente, uma unificação de dois conceitos iniciais num só; como exemplo, recorremos de novo a Galileu que argumentou não fazer sentido a distinção entre movimento natural e movimento violento feito por Aristóteles (Carey, 1992, 2009). A figura 14 (f) representa uma alteração superficial do conceito, a que Chinn e Brewer (1993) chamaram *modificação periférica*, já que os fundamentos do conceito inicial se mantêm. Em 14 (g), um conceito que foi aprendido mecanicamente, de uma forma não significativa, desaparece da estrutura cognitiva por esquecimento ao não ser revisitado (Valadares e Moreira, 2009). Na figura 14 (h) é atribuída importância, não tanto à alteração dos conceitos, mas das relações entre eles – representado na figura pelas linhas que ligam os conceitos. Já antes Carey (1985) se referia a uma reorganização conceptual em que os conceitos eram subordinados a outros e a esta hierarquização de conceitos a autora considerava que correspondia uma reestruturação do tipo *stronger kind*, próprio da troca conceptual.

A importância das relações entre os conceitos também foi, mais recentemente, analisada por Pozo e Gómez Crespo (2009). Vejamos:

> A mudança conceptual não implicaria tanto alterar o significado de cada um desses conceitos individualmente mas reestruturar as teorias de que fazem parte, que são as que lhes dão significado. E o significado de cada uma das concepções dos alunos, ou os seus modelos mentais construídos a partir das suas teorias de domínio (sobre a fotossíntese, a combustão, a queda dos graves ou a sua própria aprendizagem) viria, por sua vez, a ser determinado pelas suas teorias implícitas. (…) Essas teorias baseiam-se numa série de suposições implícitas de caráter epistemológico, ontológico ou conceptual que formatariam cada uma das teorias de domínio mantidas pelos alunos. Assim, a mudança conceptual, para ser realmente efetiva e superar a incompatibilidade básica entre as teorias dos alunos e as teorias científicas, deveria estar dirigida para mudar as estruturas conceptuais. (p.136).

Os autores argumentam que deve ser dada uma relevância acrescida às relações entre conceitos e não aos conceitos, individualmente. São essas relações que determinam a estrutura conceptual dos alunos e as suas teorias. Aplica-se aqui a máxima de Aristóteles de que o todo não é igual à soma das suas partes e assim, alterando-se as relações entre conceitos, ocorre uma alteração na estrutura cognitiva – a mudança conceptual- ainda que os conceitos individuais permaneçam inalterados quer em significado, quer em quantidade. E se essa alteração por reestruturação – entenda-se por modificação das relações entre conceitos- na estrutura cognitiva do aluno resultar numa "teoria de domínio" radicalmente diferente da que a precedeu, então, poderemos concluir que ocorreu uma mudança conceptual por troca.

Aliás, Pozo e Gómez Crespo (2009) colocam a hipótese de o alegado insucesso na mudança conceptual por troca se dever ao excessivo peso atribuído à mudança individual de conceitos, demasiado agressiva segundo os autores, em detrimento das mudanças nas interações entre conceitos. A mudança conceptual será, fundamentalmente, um processo sistémico pelo que será necessário obter uma visão geral do complexo sistema de relações intrincadas numa teia de conceitos.

Dada a complexidade das alterações que ocorrem na estrutura cognitiva, prevemos vir a ter alguma dificuldade em afirmar perentoriamente qual ou quais das alterações nos conceitos representadas na figura 14 ocorrerá nos nossos alunos (se alguma ocorrer) após a implementação do nosso programa de intervenção com vista à mudança conceptual relativa a conceitos de oxidação-redução. Mas algumas hipóteses podemos colocar. Não iremos trazer para a sala de aula nenhum conceito novo; assegurar-nos-emos junto dos professores da turma de já terem lecionado os conceitos relacionados com as reações de oxidação-redução e verificaremos se, efetivamente, os alunos detêm esses conceitos e não os esqueceram – figura 14 (g). Se as relações que os alunos estabelecerem entre esses conceitos revelarem concepções alternativas, tornar-se-á necessário reestruturar os conceitos por alteração das relações entre eles. Argumentámos, que essa reestruturação terá de ser do tipo *stronger kind*, como proposto por Carey (1985).

No capítulo *Introdução* da nossa dissertação, definimos a mudança conceptual como a mudança das concepções alternativas para os conceitos científicos sem fazermos qualquer menção aos mecanismos envolvidos. Esta definição vai de encontro à visão de aprendizagem da Ciência proposta por Vosniadou e Ioannides (1998) como um

"processo gradual durante o qual estruturas conceptuais iniciais baseadas nas interpretações das crianças de experiências do dia-a-dia são continuamente enriquecidas e reestruturadas" (p. 1213). Esta é uma definição de mudança conceptual que pensamos poder ser considerada como clássica embora, parece-nos que contém um elemento inovador para a altura, ao considerar que os mecanismos de troca e de captura conceptual podem contribuir simultaneamente para o processo de mudança conceptual já que estes dois mecanismos eram considerados incompatíveis nas investigações iniciais sobre o tema. Adotando a terminologia de Carey (1992, 2009) que considera serem os conceitos as unidades de representação mentais sujeitas a modificações e, atendendo às diferentes alterações que podem ocorrer nos conceitos de acordo com a figura 14 então, uma definição de mudança conceptual suportada apenas nos mecanismos de troca e captura conceptuais, parece-nos, atualmente, manifestamente insuficiente. Parece-nos portanto mais adequado definir a mudança conceptual como um processo lento, gradual e continuo em que, através de qualquer um ou vários mecanismos (individualmente ou em simultâneo) identificados na figura 14, um conceito ou conjunto de conceitos mudam de um significado inicial para um significado posterior, cientificamente aceite.

Nesta dissertação, é por nós desejada e incentivada nos alunos, a mudança conceptual por troca (representada pela figura 14 a) e estudaremos a possibilidade da sua ocorrência. Mas, em consciência, e como já referimos, não devemos excluir a possibilidade de ocorrer qualquer outra forma de modificação de conceitos descritos na figura 14. Qual ou quais e em que extensão? Não sabemos dizer. Talvez para responder a tal questão, precisássemos de mapear os conceitos ao longo do processo de mudança conceptual. Desconhecemos se tal é possível de realizar e reconhecemos que precisamos de um maior estudo acerca deste assunto.

Por último, da História da Ciência, sabemos que as revoluções científicas e as correspondentes mudanças conceptuais radicais são muito difíceis e por vezes tortuosas para os seus participantes ou protagonistas, não apenas devido aos conflitos cognitivos interiores resultantes da recusa de uma cultura em que se nasceu e viveu mas, também, devido aos antagonismos sociais de que se é alvo, tal como o foi, não temos dúvidas disso, para Galileu e Darwin, por exemplo. A mudança conceptual que propomos na nossa dissertação está enquadrada num tema da Química – as reações de oxidação-redução – que consideramos ser um tema cujas controvérsias não terão, certamente, a intensidade suficiente para serem destrutivas nem provocarem qualquer tipo de

desenraizamento cultural nos alunos. O mesmo poderá não acontecer relativamente a outros temas noutras áreas do conhecimento. Concordamos com Pozo e Gómez Crespo (2009) quando afirmam "não se pode ser aristotélico e newtoniano à vez, criacionista e darwiniano" (p.135); é algo que fere a nossa ecologia conceptual admitir que um aluno possa ser criacionista na missa dominical e evolucionista na aula de Biologia. Para nós uma teoria de mudança conceptual baseada na convivência de conceitos tão antagónicos não seria mais do que uma hipocrisia conceptual. A mudança conceptual por troca pode ser melindrosa dependendo dos contextos educativos que devem ser ponderados pelo professor. Cremos, contudo, que a mudança em Educação é sempre possível e se for para melhor, valerá a pena.

CAPÍTULO 3
METODOLOGIA

Neste capítulo começamos por explicar qual o modelo de investigação por que optámos para permitir dar cumprimento à principal finalidade do nosso estudo: dar resposta à questão de investigação formulada. Descrevemos, depois, a concepção, desenvolvimento e implementação do questionário usado na identificação das concepções alternativas, bem como das atividades do programa de intervenção de acordo com o *Conceptual Change Model*. Por fim, referimos o tratamento e a análise de dados que decidimos efetuar.

3.1- Desenho de investigação

Uma vez que se pretendia através de uma comparação entre os dados colhidos no pré e no pós-teste, averiguar se o programa de intervenção implementado poderá ser associado a uma mudança conceptual, de entre os vários modelos de investigação descritos, nomeadamente por Gall, Gall e Borg (2007, pp.402-404) e por Mertens (2010, p.133), a nossa opção metodológica recaiu sobre o modelo *One-group pretest-posttest design*, sem grupo de controlo e sem seleção aleatória dos participantes. Este modelo de investigação segue três fases:

1) Administração de um pré-teste,
2) Implementação do tratamento,
3) Administração de um pós-teste.

Os efeitos do tratamento são observados por comparação entre os dados recolhidos no pré e no pós-teste.

Uma das razões que justificou a nossa escolha pelo *One-group pretest-posttest design* foi o facto deste modelo de investigação ser "especialmente apropriado quando se tenta mudar uma característica que é muito estável ou resistente à mudança" (Gall et al., 2007, p.404), que é o caso das concepções alternativas. Para além disso, a opção por este modelo tornou-se forçosa porque, na Escola onde houve autorização institucional para desenvolver este estudo, só existia uma turma de cada ano do curso profissional frequentado pelos sujeitos potencialmente participantes no estudo, o que tornou pouco viável o recurso a um grupo de controlo para reforçar a validade interna.

O *One-group pretest-posttest design* que usámos é um modelo quasi-experimental orientado quantitativamente e temos consciência de que é considerado um desenho fraco de investigação (Gall et al., 2007, p.396), já que a ausência do grupo de controlo para comparação limita as possibilidades de atribuirmos uma eventual mudança conceptual, com confiança, ao programa de intervenção que implementámos. Por outro lado, a seleção aleatória dos sujeitos não foi viável no nosso caso. Tal teria a vantagem de minimizar o efeito da *seleção diferencial* dos participantes para o nosso estudo, ou seja, se a nossa amostra eventualmente fosse constituída apenas por alunos com elevado ou baixo desempenho escolar, tal poderia enviesar os resultados e induzir-nos-ia em erro nas nossas conclusões, o que comprometeria, ainda mais, a validade interna do nosso estudo. Dada a natureza do *One-group pretest-posttest design*, não será possível generalizar as conclusões retiradas com base nos resultados do presente estudo para a população de alunos em questão, nem estabelecer relações de causa-efeito, ou fazer previsões. Por conseguinte, também a validade externa deste estudo, por força do modelo de investigação adotado, está comprometida. No entanto, a finalidade do nosso estudo não é generalizar, mas dar resposta à questão de investigação formulada que, pensamos, poderá vir a oferecer um contributo para as práticas docentes no que respeita a estratégias de promoção da mudança conceptual relativa a conceitos de oxidação-redução, em sala de aula.

3.2- Amostra

Descreve-se, nesta subsecção, a constituição da amostra e procede-se, de seguida, à sua caracterização.

3.2.1- Constituição da amostra

Para constituir a amostra, usámos a turma disponível da Escola que deu o seu assentimento para que a intervenção tivesse lugar. Assim, a nossa amostra (n=7) foi constituída por um dos turnos em que estava dividida uma turma do 11º ano do curso profissional *Técnico de Análise Laboratorial* de uma escola pública do concelho de Lisboa, no ano letivo 2011/2012.

A seleção dos participantes não foi feita aleatoriamente porque a turma se encontrava previamente constituída, de acordo com a opção dos alunos pelo curso. A amostra é, portanto, de conveniência.

A pilotagem do questionário foi realizada com um grupo de alunos do 12º ano do mesmo curso e com os alunos do outro turno da turma de onde foi colhida a amostra. A pilotagem das atividades constantes do programa de intervenção também foi conduzida com o outro turno da turma de 11º ano de onde foi colhida a amostra.

Todos os sujeitos participantes, quer do estudo piloto, quer do estudo principal, já haviam estudado os conceitos de oxidação-redução e tinham sido submetidos a avaliações formais relativas àquele tema.

3.2.2- Caracterização da amostra

A nossa amostra ficou constituída por sete alunas. A idade média das alunas é 17,4 (s=1,5) anos.

3.3- Planeamento do estudo

Todos os alunos participantes neste estudo frequentavam o curso profissional de Técnico de Análises Laboratoriais que confere equivalência ao ensino Secundário. Na escola existe uma turma de cada ano deste curso e cada turma está dividida em dois turnos nas disciplinas com componente laboratorial. A turma de 12º ano e um dos turnos do 11º ano foram utilizadas para o ensaio e desenvolvimento do questionário. Este referido turno da turma de 11º ano também foi utilizada para o ensaio das atividades e estratégias de sala de aula concebidos propositadamente para esta dissertação. Estas fases do estudo são designadas na literatura por *estudo piloto*. O estudo piloto, desenvolvido com uma totalidade de 23 alunos, permitiu colher informações que nos levaram a corrigir, refinar e melhorar os instrumentos usados neste estudo, bem como a ensaiar técnicas de administração destes em sala de aula antes de os implementar no estudo principal.

A literatura consultada relativa à investigação em Educação refere a necessidade de se tentar assegurar a validade interna, minimizando as variáveis estranhas que a comprometam. A validade interna refere-se à extensão com que

qualquer efeito observado possa ser atribuído, apenas, às nossas atividades. As variáveis estranhas são quaisquer outras variáveis, para além do tratamento que, no caso do presente estudo, sendo subjacentes ao processo da mudança conceptual, podessem afetar os resultados finais. São diversas as variáveis estranhas mencionadas na literatura e que tentaremos minimizar (Gall et al., 2007, pp.383-388; Creswell, 2012, pp.304-306). A mortalidade experimental é uma dessas variáveis e consiste no abandono do estudo, por parte dos sujeitos, devido a qualquer razão como por exemplo, doença. Uma das formas referidas na literatura para minimizar o efeito desta variável é a escolha de amostras grandes. No nosso estudo, apesar de a amostra ser de pequena dimensão, não ocorreu mortalidade experimental; nenhum aluno abandonou o programa de intervenção e todos realizaram quer o pré-teste, quer o pós-teste.

A seleção diferencial dos alunos para o estudo piloto ou para o grupo experimental também poderia afetar a validade interna se os alunos com melhores desempenhos escolares fossem atribuídos a um dos grupos. A seleção aleatória iria minimizar este risco. Não sendo possível selecionar aleatoriamente os sujeitos do grupo experimental, recolhemos junto dos professores das turmas informações que nos permitissem comparar os dois turnos da turma. Assim, confirmámos que não foi seguido qualquer critério específico para a divisão dos alunos por turnos, a não ser um de ordem administrativa: a ordem alfabética dos respetivos nomes. Os professores das turmas também nos referiram não haver diferenças notórias entre os desempenhos escolares dos dois turnos no ano letivo em que decorreu a intervenção, de 2011/2012. Por conseguinte, os únicos critérios utilizados para decidirmos quais os alunos que participariam nas pilotagens do questionário e das atividades bem como da versão final do programa de intervenção foram: 1) os alunos aos quais já foram lecionados os conceitos relativos às reações químicas de oxidação-redução, 2) os alunos com maior disponibilidade de tempo para participarem neste estudo, ou seja, aqueles alunos aos quais se poderia assegurar cuja participação não perturbaria de forma significativa as suas atividades escolares pré-calendarizadas. Assim, participaram na pilotagem da primeira e segunda versão do questionário os alunos que, naquele ano letivo, iniciariam em breve, a preparação das *Provas de Aptidão Profissionais* seguidas dos *Estágios Profissionais*. Os alunos da turma de 11º ano que participaram na pilotagem das atividades e no estudo principal, só no ano letivo seguinte realizariam aquelas Provas e Estágios. Esta turma estava dividida em dois turnos, como já referimos e não seguimos

qualquer outro critério para decidirmos com qual dos turnos desenvolveríamos o estudo piloto, e qual dos turnos constituiria o grupo experimental.

Outras variáveis estranhas mencionadas na literatura referem-se, ainda, à distinção percecionada no tratamento de que serão alvo pelos alunos de um grupo, neste caso, o grupo do estudo piloto relativamente ao grupo experimental. A rivalidade compensatória ou efeito de John Henry deve-se a uma situação em que os alunos do grupo experimental mostrem, eventualmente, um desempenho acima do habitual se percecionarem que estão em competição com os colegas do outro turno, que serviu de amostra para a pilotagem; a situação oposta é a desmoralização ressentida, caso os alunos do grupo experimental eventualmente percecionem que vão receber um melhor e mais desejável tratamento, mas mais exigente. Para tentarmos atenuar os efeitos destas variáveis nos resultados, não prestámos aos alunos nem aos professores da turma, quaisquer informações quanto à nossa metodologia, mencionámos que o outro turno também fariam as mesmas atividades e que a diferença de tempo entre uns e outros se devia apenas à nossa disponibilidade.

Outra ameaça à validade interna é o efeito de testagem. Como referimos, o pré-teste tem como objetivo averiguar se os alunos manifestam alguma concepção alternativa relativa aos conceitos de oxidação-redução antes da intervenção e o pós-teste, idêntico ao pré-teste destina-se a averiguar as mesmas concepções após a intervenção para assim, tentarmos retirar algumas conclusões quanto a uma possível mudança conceptual por comparação entre os resultados dos dois testes, antes e após a intervenção. Uma questão se coloca então: será que os resultados do pós-teste se devem apenas às atividades que implementámos, ou à aquisição de uma maior experiência e maturação resultantes da realização do pré-teste, com as mesmas questões? Para acautelar este efeito, não prestámos aos alunos qualquer informação quanto aos resultados do pré-teste, nem mencionámos sequer que iria ser feito algum outro para além do primeiro e, muito menos, que iriam ser iguais. O pós-teste foi, assim, uma surpresa para os alunos. Deste modo, tentou-se minimizar, da melhor forma, a interferência do efeito da testagem nos resultados.

Reunimos com a professora da disciplina de Análises Químicas da turma que participou na intervenção e com a professora Coordenadora dos Cursos Profissionais, a fim de calendarizarmos o programa de intervenção. Este foi implementado durante o mês de Maio de 2012. As atividades foram desenvolvidas em duas aulas de 135 minutos ao longo de uma semana. Todas as atividades do programa de intervenção decorreram

no horário habitual da disciplina de Análises Químicas e no espaço que lhe estava reservado: o laboratório de Química.

Mas o trabalho fundamental e moroso desta fase preliminar da nossa dissertação foi a concepção do questionário para administrar como pré e pós-teste e das atividades que permitissem, de uma forma coerente, atingir a principal finalidade deste estudo, dar resposta à questão de investigação formulada. É este processo de concepção e desenvolvimento dos instrumentos usados no presente estudo que se relata a seguir.

3.3.1- Concepção do questionário

Atendendo ao modelo de troca conceptual por nós adotado, o CCM, era nossa intenção não trazer para a sala de aula conceitos desconhecidos dos alunos. Por conseguinte, antes de iniciarmos a concepção do questionário para ser utilizado como pré e pós-teste, e do programa de intervenção, assegurámo-nos, em diálogo informal com os professores da turma, de que os conceitos de oxidação-redução já eram familiares aos alunos, quer os do estudo piloto, quer os do estudo principal.

O questionário que foi utilizado como pré e pós-teste, foi desenvolvido ao longo de três versões sucessivas:

1- Versão 1, que foi pilotada com um grupo de oito alunos que constituíam o primeiro turno da turma de 12ºano,
2- Versão 2, que foi pilotada com outro grupo de 15 alunos- nove do segundo turno da turma de 12º ano e seis do primeiro turno da turma de 11º ano,
3- Versão 3, que foi considerada adequada para administrar como pré e pós-teste ao grupo experimental- o segundo turno da turma de 11º ano.

Para a concepção do questionário, inspirámo-nos nos testes TTT usados no diagnóstico de concepções alternativas. Lembramos que os testes TTT são constituídos por questões de escolha múltipla em que a cada pergunta, são dadas várias hipóteses de resposta que o aluno seleciona e entre elas está, para além da cientificamente aceite, outras respostas não aceitáveis e que a literatura designa por "distratores"; entre esses distratores estará o que decorre de concepções alternativas. É, depois, pedida uma justificação, também sob a forma de respostas de escolha múltipla, que incluem a aceite e os distratores. Porque era desejável colher informação suficientemente detalhada que nos indicasse se os alunos manifestavam determinadas concepções alternativas ou conceitos científicos de uma forma clara, e também para acautelarmos a possibilidade de respostas aleatórias e incentivarmos uma maior elaboração, por parte dos alunos, do

conteúdo das informações recolhidas, optámos por incluir, ainda, questões de resposta aberta, principalmente nas justificações. Tivemos, também, em atenção os critérios sugeridos por Schmidt, Marohn e Harrison (2007, p.263) que devem ser cumpridos pelos testes por forma a serem considerados bons identificadores de concepções alternativas manifestadas pelos alunos. Segundo os autores, os itens das questões devem permitir que: (1) Apenas uma estratégia de raciocínio conduz a uma resposta aceite; (2) Estratégias específicas e incorretas de raciocínio devem conduzir a apenas um distrator e (3) Um distrator deverá apresentar-se como atraente aos estudantes que detenham determinadas concepções alternativas ou que tendam a incorrer noutras respostas não aceites.

Após ponderarmos as concepções alternativas referidas na literatura consultada, decidimos incluir as seguintes para serem identificadas no questionário:

1) Em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação; se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução.
2) Se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução.
3) Em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões.
4) A reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra.
5) As reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto.
6) Se numa equação química não estiverem visíveis os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução.
7) Os números de oxidação podem ser atribuídos a iões poliatómicos. A carga elétrica desse ião poliatómico indica o seu número de oxidação.
8) Num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga elétrica do ião.
9) O número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga elétrica do ião monoatómico desse elemento (quando deveria ser zero).
10) Numa equação, as mudanças nas cargas de entidades químicas poliatómicas pode ser usado para classificar a reação como oxidação-redução.
11) O oxidante sofre oxidação.
12) O redutor sofre redução.

Estas concepções alternativas são a nossa escolha por a literatura consultada lhes fazer referência como as concepções alternativas maioritariamente manifestadas pelos alunos relativamente aos conceitos de oxidação-redução. Decidimos também averiguar se o aluno entende a forma de representação simbólica de cedência e captação de eletrões e se manifesta a concepção alternativa 13) *se um átomo ganhar eletrões, forma um ião positivo, se perder eletrões, forma um ião negativo*. Assim, o que pretendemos com o questionário e depois com o pré-teste, foi identificar quais destas 13 concepções alternativas eram manifestadas, antes da intervenção, pelos alunos participantes neste estudo. Com o pós-teste, pretendemos averiguar se as concepções alternativas identificadas (de entre as 13 pré-selecionadas) sofreram, ou não, uma mudança conceptual após a implementação do programa de intervenção.

3.3.2- Desenvolvimento do questionário.

As três versões sucessivas do questionário que administrámos aos alunos são sintetizadas na tabela 6. Na coluna 1, mencionamos quais as concepções alternativas que cada questão se destina a identificar. Na coluna 2, constam as questões apresentadas na primeira versão. Na coluna 3, apresentamos a segunda versão das questões. Na coluna 4, é apresentada a terceira versão, que foi considerada apta para ser administrada como pré e pós teste ao grupo experimental.

3.3.2.1- Análise das respostas ao questionário no estudo piloto

Recolhidas as respostas à primeira versão do questionário, procedemos à análise do seu conteúdo. Esta análise foi feita com o objetivo de comparar e categorizar as informações constantes nessas respostas. A fim de se aumentar a fiabilidade entre avaliadores da avaliação, a análise de conteúdo das respostas foi efetuada em conjunto com a nossa orientadora de dissertação.

Seguindo as técnicas de análise de conteúdo descritas por Bardin (2011), começámos por fazer uma "leitura flutuante" das respostas que consistiu em tomar contacto com os textos escritos pelos alunos e deles retirar as primeiras impressões. A nossa leitura foi-se tornando cada vez mais precisa e procedemos, de seguida, à codificação dos dados contidos nas respostas, isto é, agregámos as respostas de acordo com as semelhanças manifestadas por forma a obtermos unidades de representação do conteúdo, pois, de acordo com Bardin (2011), "a codificação corresponde a uma transformação dos dados em bruto do texto, transformação esta que, por recorte,

Tabela 6

Identificação das concepções alternativas dos alunos

Concepção alternativa a identificar	1ª Versão	2ª Versão	3ª Versão
As três respostas estão corretas pelo que se pretende averiguar qual dos modelos é maioritário na estrutura conceptual do aluno. Possíveis CA's relacionadas: 1) Em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação; se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução. 2) Se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução. 3) Em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões.	**1-** Considera a reação química em que o magnésio sofre oxidação: $2\,Mg_{(s)} + \ O_{2(g)} \rightarrow 2\,MgO_{(s)}$ Ordena as afirmações (de 1 a 3) de acordo com a tua preferência para a explicação da oxidação do Magnésio (*1* para a explicação que mais preferires e *3* para a que menos preferires). __O magnésio é oxidado porque cede eletrões. __O magnésio é oxidado porque capta oxigénio __O magnésio é oxidado porque o seu número de oxidação aumenta	—	—
4) A reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra. 5) As reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto.	**2-** Ainda em relação à reação da questão anterior, classifica as seguintes afirmações de V (verdadeiro) ou F (falso): __Primeiro ocorre a oxidação do magnésio e só depois ocorre a redução do oxigénio gasoso. __O reagente da reação, oxida-se e, logo de seguida, o produto da reação, reduz-se. __A oxidação do magnésio e a redução do oxigénio ocorrem em simultâneo.	—	—

Tabela 6. Continuação

Identificação das concepções alternativas dos alunos

Concepção alternativa a identificar	1ª Versão	2ª Versão	3ª Versão
1) Em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação; se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução. 2) Se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução. 3) Em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões. 6) Se numa equação química não estiverem visíveis os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução.	**3-** A reação química representada pela equação $2\,Na_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightleftarrows 2\,NaCl_{(s)}$ representa uma reação de oxidação-redução? Justifica a tua resposta.	**3-** A reacção química representada pela equação $H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftarrows 2\,HCl_{(g)}$ representa uma reação de oxidação-redução? Justifica a tua resposta.	—
7) Os números de oxidação podem ser atribuídos a iões poliatómicos. A carga elétrica desse ião poliatómico indica o seu número de oxidação. 8) Num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga elétrica do ião.	**4-** Qual é o número de oxidação do carbono no ião carbonato, CO_3^{2-} ? □ + 3 □ + 4 □ + 1 □ - 2 Justifica a tua resposta.	**4-** Qual é o número de oxidação do carbono no ião carbonato, CO_3^{2-} ? Justifica a tua resposta. Se efetuares algum cálculo, apresenta-o.	**4-** Qual é o número de oxidação do Fósforo (P) no ião fosfato, PO_4^{3-} ? Justifica a tua resposta. Se efetuares algum cálculo, apresenta-o.

Tabela 6. Continuação

Identificação das concepções alternativas dos alunos

Concepção alternativa a identificar	1ª Versão	2ª Versão	3ª Versão
1) Em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação; se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução. 2) Em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões. 6) Se numa equação química não estiverem visíveis os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução. 10) Numa equação, as mudanças nas cargas elétricas de entidades químicas poliatómicas pode ser usado para classificar a reação como oxidação-redução.	**5-** A transformação química em meio aquoso traduzida pelo esquema: $CO_{3(aq)}^{2-} + 2H_{(aq)}^{+} \rightleftarrows H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$ Representa uma reação de: __Redução porque o ião carbonato cede um átomo de oxigénio e transforma-se em dióxido de carbono. __Oxidação porque o ião carbonato cedeu dois eletrões. __A reação representada não é uma reação de oxidação-redução.	**5-** A transformação química em meio aquoso traduzida pelo esquema: $CO_{3(aq)}^{2-} + 2H_{(aq)}^{+} \rightleftarrows H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$ Representa uma reação de: (Classifica as seguintes afirmações de Verdadeiro ou Falso) __Redução porque o ião carbonato cede um átomo de oxigénio e transforma-se em dióxido de carbono. __Oxidação porque o ião carbonato cedeu dois eletrões. __A reação representada não é uma reação de oxidação-redução.	__

Tabela 6. Continuação.

Identificação das concepções alternativas dos alunos

Concepção alternativa a identificar	1ª Versão	2ª Versão	3ª Versão
11) O oxidante sofre oxidação 12) O redutor sofre redução	**6-** Considera a reação de oxidação-redução e responde às seguintes questões: $Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftarrows Fe^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$ **a)** Para a reação global representada, seleciona (com um X) a única afirmação que é verdadeira: __O ferro é oxidante porque sofre oxidação. __O ferro é oxidante porque sofre redução. __O ião cobre é oxidante porque sofre redução	**6-** Considera a reação de oxidação-redução e responde às seguintes questões: $Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftarrows Fe^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$ **a)** Para a reação global representada, seleciona (com um X) a única afirmação que é verdadeira: __O ferro é oxidante porque sofre oxidação. __O ferro é oxidante porque sofre redução. __O ião cobre é oxidante porque sofre redução Justifica a tua resposta	—
9) O número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga elétrica do ião monoatómico desse elemento (quando deveria ser zero). 13) Se um átomo *ganhar* eletrões, forma um ião positivo, se *perder* eletrões, forma um ião negativo.	**b)** A equação da semirreação de oxidação no sentido direto é: (assinalar com *X*) □ $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$ □ $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$ □ $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$ □ $Fe_{(s)} + 2e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$ Justifica a tua resposta.	—	—

agregação e enumeração, permite atingir uma representação do conteúdo, ou da sua expressão; susceptível de esclarecer o analista acerca das características do texto" (p.129). Essa representação do conteúdo refere-se ao significado das respostas que nos pareceu relevante e pertinente e que Bardin (2011) apelida de *tema*:

> O tema é a unidade de significação que se liberta naturalmente de um texto analisado segundo certos critérios relativos à teoria que serve de guia à leitura. O texto pode ser recortado em ideias constituintes, em enunciados e em proposições portadores de significações isoláveis. (…) Fazer uma análise temática consiste em descobrir os núcleos de sentido que compõem a comunicação e cuja presença, ou frequência de aparição podem significar alguma coisa para o objetivo analítico escolhido. (p.131)

Atendendo a que a principal finalidade do nosso estudo é dar resposta à questão de investigação formulada, o que implica induzir a mudança desde as concepções alternativas até aos conceitos científicos, então o objetivo analítico a que se refere Bardin, no caso da nossa análise, é identificar aquelas concepções e conceitos com base na literatura revista. Assim, seguindo as técnicas descritas por aquela autora, aglutinámos as respostas dos alunos em três grandes temas ou categorias: 1) conceitos científicos, 2) concepções alternativas e 3) outras respostas, que se descrevem a seguir:

1) *Conceitos científicos*; incluímos nesta categoria as respostas aceites de acordo com o conhecimento científico atual.
2) *Concepções alternativas*; incluímos nesta categoria as respostas que evidenciam concepções alternativas identificadas com base na literatura.
3) *Outras respostas*; referente a respostas não aceites cientificamente, eventual ausência de resposta, respostas desconexas ou descontextualizadas, incompletas ou redundantes, em suma respostas que, com base na literatura consultada, não puderam ser identificadas nem como conceitos científicos, nem como concepções alternativas.

Como referimos, a análise das respostas por categorias foi por nós efetuada, bem como pela nossa orientadora de dissertação, tendo-se obtido, de um modo geral, uma concordância entre avaliadores superior a 90%, o que nos leva a crer que a análise efetuada foi fiável. Apresentam-se, de seguida, os passos seguidos na análise das respostas a cada pergunta das sucessivas versões do questionário do estudo piloto à luz dos critérios estabelecidos, bem como as razões que nos levaram a introduzir alterações em algumas questões.

3.3.2.1.1- Primeira versão

Na primeira questão, que apresenta a reação de combustão do magnésio, pretendíamos averiguar qual dos três modelos de interpretação das reações de oxidação-redução- do *oxigénio*, de *transferência de eletrões* e do *número de oxidação*- é o maioritário na estrutura conceptual do aluno. A este propósito, Schug (1975) refere que a utilização do modelo do número de oxidação deve ser encorajado no aluno visto ser o mais abrangente. Assim, apesar da reação apresentada, a combustão do magnésio, poder ser interpretada por qualquer dos três modelos, a primazia foi por nós dada ao modelo do *número de oxidação* em termos de resposta aceite. Assim sendo, considerámos como pertencentes à categoria *conceito científico* as respostas que manifestaram preferência pelo modelo do número de oxidação, enquanto as respostas que manifestaram preferência pelos outros dois modelos foram por nós incluídas na categoria *concepções alternativas*. Verificámos que a maioria dos alunos manifestou preferência pelo modelo *de transferência de eletrões* e poucos alunos, pelo modelo do *número de oxidação*. Nenhum aluno manifestou a primeira preferência pelo modelo do *oxigénio*. Decidimos, por conseguinte manter esta questão, na expetativa de que, após a implementação do programa de intervenção, a preferência dos alunos se tenha alterado para o modelo do *número de oxidação*.

Na questão número dois, ainda em relação à reação de combustão do magnésio, pedimos aos alunos que classificassem três afirmações de *Verdadeiro* ou *Falso* a fim de averiguarmos a manifestação das concepções alternativas de não simultaneidade entre as reações químicas de oxidação e de redução e *as reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto*. Constatámos que estas concepções alternativas persistem, não sendo, contudo, maioritárias neste grupo de alunos. Também decidimos manter esta questão.

As respostas à questão número três, em que se perguntava se a reação química $2\,Na_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightleftarrows 2\,NaCl_{(s)}$ representa uma reação de oxidação-redução, foram para nós de difícil interpretação quanto à categoria em que as deveríamos incluir. Previámos, inicialmente, que alguns alunos manifestassem a concepção alternativa *se numa reação química não intervier o oxigénio então, não é uma reação de oxidação-redução*; contudo, nenhum aluno a evidenciou, o que é coerente com o facto de não terem manifestado preferência pelo modelo do oxigénio na questão número um. Algumas das respostas foram do tipo "É uma reação de oxidação-redução porque o sódio oxida-se e o cloro reduz-se". Considerámos esta resposta incompleta, porque o aluno não justifica

por que razão o sódio se oxida e o cloro se reduz, por conseguinte, incluímo-las na categoria *outras respostas*. Nesta mesma categoria, também incluímos algumas tentativas mal sucedidas de aplicação do modelo de transferência de eletrões, como por exemplo: "É uma reação de oxidação-redução porque o sódio vai-se oxidar ou seja, captar eletrões, e o cloro vai-se reduzir, ou seja, vai perder eletrões". Uma resposta que incluímos na categoria *concepção alternativa* foi: "Esta reação química não representa uma reação de oxidação-redução uma vez que na reação dada, são todos átomos ou moléculas, os seus números de oxidação são iguais a zero". Parece-nos que, ao tentar aplicar o modelo do número de oxidação, o aluno tem consciência que só seria uma reação de oxidação-redução se ocorresse uma variação dos números de oxidação; contudo, estabelece os números de oxidação do sódio e do cloro considerando o cloreto de sódio como uma substância molecular, o que é uma concepção alternativa referida na literatura relativamente ao tema *Ligações Químicas* (Taber, 1998; Taber e Coll, 2002, p.221; Kind, 2004, p.61). As respostas que incluímos na categoria *conceito científico* são aquelas que explicam a reação química em questão com base na variação dos números de oxidação do sódio e do cloro. Contudo, esta reação química também poderia ser interpretada com base no modelo de *transferência de eletrões*, embora nenhum aluno o tenha feito de uma forma aceitável. Por forma a ultrapassar a ambiguidade e dificuldade na interpretação das respostas dos alunos, decidimos alterar a equação química apresentada nesta questão. Assim, na versão dois, apresentámos uma equação química que envolve compostos covalentes, por forma a obrigar a que as respostas aceites incluíssem exclusivamente a utilização do modelo do número de oxidação.

Nas respostas à questão quatro, que pede aos alunos para indicarem o número de oxidação do carbono no ião carbonato, CO_3^{2-}, a maior parte dos alunos calculou o número de oxidação do carbono de acordo com os números de oxidação convencionados cientificamente. Incluímos na categoria *concepções alternativas* uma resposta: "Optei pelo -2 por ser a carga do ião"; já que a identificação do número de oxidação de um dos elementos com a carga elétrica do ião poliatómico, se trata de uma concepção alternativa referida na literatura. Contudo, durante a administração da primeira versão, alguns alunos referiram que obtiveram um número de oxidação que não era apresentado como hipótese de resposta; estes alunos acabaram por rever os seus cálculos até obterem uma das quatro respostas apresentadas. Para não condicionarmos as respostas dos alunos e, porque tínhamos interesse em analisar a forma como os

alunos calculavam números de oxidação, decidimos, na versão dois, não apresentar as quatro possibilidades de resposta.

Pretendíamos, na questão número cinco, que os alunos assinalassem com uma cruz de entre três opções, a cientificamente aceite quanto à interpretação da reação do ião carbonato em meio ácido. Nesta questão, inicialmente, não explicitámos a instrução de assinalar com uma cruz a opção pretendida, pelo que todos os alunos classificaram cada uma das afirmações de *Verdadeiro* ou *Falso*, o que também considerámos como uma forma aceitável de responder ao pretendido. Assim, na segunda versão acolhemos esta 'sugestão' dos alunos e pedimos explicitamente para classificarem cada uma das afirmações de *Verdadeiro* ou *Falso*. Nesta versão, a maior parte dos alunos considerou como *Verdadeira* a resposta cientificamente aceite, ou seja, *a reação representada não é uma reação de oxidação-redução.* Contudo, algumas respostas evidenciaram as concepções alternativas: *em toda as reações químicas, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução* e *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões.*

Na questão número seis, na alínea a), que interroga qual a espécie química que atua como oxidante na reação $Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftarrows Fe^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$, a maior parte dos alunos optou pela afirmação que incluímos na categoria *conceitos científicos*: "o ião cobre é oxidante porque sofre redução". Um aluno optou pela afirmação "o ferro é oxidante porque sofre oxidação", que considerámos ser uma manifestação da concepção alternativa *o oxidante sofre oxidação*. As duas opções pela afirmação "o ferro é oxidante porque sofre redução" foram incluídas na categoria *outras respostas*. Na segunda versão, solicitámos aos alunos que justificassem as suas opções, a fim de acautelarmos o efeito da aleatoriedade das respostas e fomentarmos uma maior elaboração por parte dos alunos, para aumentar a informação recolhida nas respostas ao pré e pós-teste.

Ainda nesta questão, na alínea b), que em relação à reação anterior, inquire sobre qual seria a sua semirreação de oxidação no sentido direto, incluímos na categoria *conceitos científicos* as respostas que, cumulativamente, assinalaram e justificaram fundamentadamente a opção cientificamente aceite. Este critério é idêntico ao seguido para o diagnóstico de concepções alternativas com recurso aos testes TTT. Alguns alunos assinalaram a opção aceite cientificamente e justificaram-na fundamentadamente com base no modelo de transferência de eletrões. Por outro lado, e de acordo com a

literatura consultada, incluímos na categoria *concepções alternativas* respostas tais como:

- A opção aceite, $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$, "porque o ferro ganhou dois eletrões, por isso oxidou-se";
- Primeira opção, $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(s)}$, "pois o cobre perdeu dois eletrões";
- Quarta opção, $Fe_{(s)} + 2e^{-} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$, "quando reagente da reação, o ferro cede dois eletrões, depois, quando produto o seu estado já aparece Fe^{2+}".

Algumas respostas dos alunos parecem, pois, evidenciar uma dificuldade em discernir como se representam, numa equação química, a cedência e a captura de eletrões: se junto dos reagentes, ou dos produtos. Esta situação é algo que poderá espelhar a dificuldade em trabalhar, em simultâneo ao nível *sub micro* e ao nível *representacional* do triângulo de Johnstone em termos de estratégia em sala de aula e que, à luz deste quadro teórico, poderá estar na origem da concepção alternativa *se um átomo ganhar eletrões, forma um ião positivo; se perder eletrões, forma um ião negativo*.

3.3.2.1.2- Segunda versão.

Na primeira questão, que apresenta a reação de combustão do magnésio, os alunos dividiram-se na manifestação de preferência pelos três modelos de interpretação das reações de oxidação-redução. Atendendo aos critérios já explicados, as respostas que manifestaram preferência pelo modelo do número de oxidação foram incluídas na categoria *conceitos científicos* enquanto as respostas que manifestaram preferência pelos outros dois modelos, do oxigénio e de transferência de eletrões, foram incluídas na categoria *concepções alternativas*.

Relativamente à questão número dois em que, em relação à reação de combustão do magnésio, pedimos aos alunos que classificassem três afirmações de *Verdadeiro* ou *Falso* a fim de averiguarmos a manifestação das concepções alternativas de não simultaneidade entre as reações químicas de oxidação e de redução e *as reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto*, verificámos a persistência destas concepções alternativas na maioria das respostas.

Na questão número três, em que se perguntava se a reação química $H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftarrows 2\,HCl_{(g)}$ representa uma reação de oxidação-redução, incluímos na categoria *conceitos científicos* respostas que interpretaram a reação apresentada com base no modelo do número de oxidação e indicando a ocorrência de variação dos números de oxidação do hidrogénio e do cloro. Foram incluídas na categoria *concepções alternativas* respostas resultantes da aplicação do modelo de transferência de eletrões, de que são exemplo:

- "É uma reação de oxidação-redução porque o hidrogénio oxida-se e o cloro reduz-se. O hidrogénio recebe dois eletrões e o cloro perde". Trata-se de uma tentativa de aplicação do modelo de transferência de eletrões em compostos covalentes.
- "Não é uma reação de oxidação-redução, pois os números de oxidação mantêm-se". Nesta resposta, na equação química, o aluno colocou números por cima de cada elemento químico, que nós interpretámos como sendo os números de oxidação de cada elemento considerado pelo aluno. Assim, por cima do hidrogénio molecular colocou o número +1, por cima do cloro molecular o número -1 e, no ácido clorídrico, por cima do hidrogénio colocou o número +1 e por cima do cloro, -1. Ora, o aluno parece ter considerado que, no hidrogénio molecular e no cloro molecular, os números de oxidação dos elementos químicos respetivos seriam iguais às cargas elétricas dos correspondentes iões monoatómicos (quando deveriam ser zero). Este conceito do aluno está identificado na literatura como concepção alternativa.
- "Não é uma reação de oxidação porque ambos os componentes se oxidam e nenhum se reduz". O aluno considera que ambos os reagentes se oxidam, ou seja, ocorre uma oxidação sem que ocorra a redução, o que é revelador da concepção alternativa de não simultaneidade entre as reações de oxidação e de redução.
- "Não é uma reação de oxidação-redução visto que ambos os reagentes reduzem-se. O número de oxidação do hidrogénio é 2 e passa a 1 e o número de oxidação do cloro passa de 0 a -1". Esta resposta revela, a nosso ver, as concepções alternativas identificadas nas duas respostas anteriores. Vejamos. Na reação química, por baixo de cada elemento, o aluno colocou o

que considera, à partida, serem os respetivos números de oxidação. Por baixo do hidrogénio molecular escreve +1x2=2, que nós interpretamos da seguinte forma: o aluno considera que o número de oxidação do hidrogénio molecular é +1, a carga do ião H^+, o que é revelador da concepção alternativa *o número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga elétrica do ião monoatómico desse elemento quando deveria ser zero*; depois multiplica +1 por 2 pelo facto de ter dois átomos de hidrogénio. Por baixo do cloro molecular, coloca o número zero, o que é aceite, mas é incoerente com o procedimento anterior. Por outro lado, identifica os números de oxidação do hidrogénio e do cloro no ácido clorídrico de acordo com a convenção cientificamente aceite. Ora, o aluno demonstrou saber que uma redução corresponde à diminuição do número de oxidação; mas, então, se o número de oxidação do hidrogénio variasse de +2 para +1, e o do cloro de zero para -1, então concluir-se-ia que ambos se reduzem. Esta conclusão, que foi a que o aluno parece ter chegado, também revela a concepção alternativa de não simultaneidade entre a reação de oxidação e a de redução. Observou-se que este mesmo aluno manifesta esta concepção alternativa também na questão número dois, o que torna a sua conclusão consentânea com tal concepção alternativa e evidencia uma aparente coerência racional entre as concepções alternativas e as respostas dadas.

Ainda no respeitante à análise das respostas à questão número três, na categoria *outras respostas* incluímos respostas incompletas ou redundantes tais como: "É uma reação de oxidação porque o hidrogénio oxida-se e o cloro reduz-se".

Na questão número quatro, que pede aos alunos para calcularem o número de oxidação do carbono no ião carbonato, CO_3^{2-}, a maior parte dos alunos calculou, de acordo com a convenção aceite cientificamente, o número de oxidação do carbono no ião carbonato. Incluímos, por isso, na categoria *conceitos científicos* respostas tais como:

- "3x(-2)= -6. Para que as cargas fiquem concordantes, o número de oxidação do carbono será +4", e
- "O carbono tem número de oxidação de +4. Multipliquei 3x(-2)= -6 e depois como o ião tem duas cargas negativas, o carbono tinha que ter +4". Nesta resposta, o aluno assinalou, a lápis, *+4* por cima do elemento carbono e *-2* por cima do elemento oxigénio.

Duas das respostas que incluímos na categoria *outras respostas* foram:

- "Multipliquei a carga do ião por 3, -2x3= -6. Resposta: o número de oxidação do carbono no ião carbonato é +6" e
- " O número de oxidação do carbono é +6. Multipliquei 3x(-2) que dá -6 e então, como as cargas têm que ficar zero, o carbono tem que ficar +6".

Assim, os alunos multiplicaram a carga elétrica do ião carbonato pelo número de átomos de oxigénio e, aparentemente, atribuíram o simétrico do produto obtido ao número de oxidação do carbono. Este conceito dos alunos não está descrito como uma concepção alternativa na literatura. Incluímos, ainda, na categoria *outras respostas*: "O número de oxidação do carbono é 3 porque tem 3 oxigénios". Aparentemente, o aluno considerou que o número de oxidação do carbono é igual ao número de átomos de oxigénio que constituem o ião. De referir que, ao analisar algumas das respostas a esta questão, emergiu a dúvida se os alunos estariam a relacionar o número -2, que utilizaram no cálculo *3x(-2)= -6*, com o número de oxidação do oxigénio, ou com a carga elétrica do ião carbonato. Ou seja, será que os alunos tinham consciência de que o número de oxidação do oxigénio é geralmente *-2*, ou consideraram que o número de oxidação do oxigénio era *-2* por ser esta a carga elétrica do ião carbonato? Esta última hipótese coincide com uma das concepções alternativas referidas na literatura. Para ultrapassar esta nossa dificuldade na interpretação das respostas dos alunos, na terceira versão decidimos substituir o ião carbonato, CO_3^{2-} pelo ião fosfato, PO_4^{3-}. Neste, o número de oxidação do oxigénio e a carga elétrica global do ião não coincidem, salvaguardando assim erros de interpretação na análise das respostas dadas.

Nas questões incluídas no número cinco, em que pedíamos aos alunos para classificarem de *Verdadeiro* ou *Falso* três afirmações quanto à interpretação da reação do ião carbonato em meio ácido, algumas respostas evidenciaram as concepções alternativa: *em todas as reações químicas, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução* e *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões* .

Na questão número seis, alínea a), que interroga qual a espécie química que atua como oxidante na reação $Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftarrows Fe^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$, a maior parte dos alunos optou pela afirmação que incluímos na categoria *conceitos científicos*: "o ião cobre é oxidante porque sofre redução". Algumas justificações incluiram a aplicação do

modelo do número de oxidação para concluírem que o ião cobre sofre redução logo, é oxidante:

- "O ião cobre é o agente oxidante porque este se reduz, passa de +2 para *zero*";
- "Porque o agente oxidante é o elemento que se reduz".

Ainda nesta alínea, dois alunos optaram pela afirmação "o ferro é oxidante porque sofre oxidação*"* e justificaram da seguinte forma: "É o ferro que se oxida, por isso é oxidante" e "O ferro é oxidante porque recebe dois eletrões, logo oxidou-se". Estas respostas revelam a concepção alternativa *o oxidante sofre oxidação*, pelo que as incluímos na respetiva categoria.

Na questão seis, alínea b), algumas das respostas dadas foram incluídas na categoria *conceitos científicos* e em cujas justificações os alunos aplicaram ou o modelo do número de oxidação, ou o modelo de transferência de eletrões. Salientamos a resposta: "O ferro sofre oxidação, logo vai ceder eletrões e para ceder, têm que ficar do lado direito da seta". Esta resposta, para além de constituir uma aplicação fundamentada do modelo de transferência de eletrões, revela uma conciliação entre o nível sub-micro e representacional do triângulo de Johnstone. Outras respostas dadas a esta alínea foram incluídas na categoria *concepções alternativas,* pois os alunos optaram pela quarta equação, $Fe_{(s)} + 2e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$, e justificaram "porque o ferro recebe dois eletrões e passa a Fe^{2+}", o que revela a concepção alternativa *se um átomo ganha eletrões, forma um ião positivo*. Ainda nesta alínea, incluímos na categoria *outras respostas*, algumas que indicam que os alunos consideram que ocorre uma reação de oxidação quando há formação de iões. Exemplo de uma dessas respostas: Quarta opção, $Fe_{(s)} + 2e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$, "pois passa de Fe para Fe^{2+}, logo oxida". Estas respostas, contudo, não estão descritas na literatura como concepções alternativas. Também incluímos nesta categoria:

- a opção cientificamente aceite, $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$, mas com tentativas não aceites cientificamente de justificação com base no modelo da transferência de eletrões.
- as que tentaram justificar a opção pela primeira ou terceira equações, $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$ e $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$como sendo o cobre, na forma de ião ou metal, a espécie que sofre oxidação.

Tendo analisado as respostas à segunda versão e efetuado as reformulações às questões colocadas, considerámos que a terceira versão do questionário cumpria as finalidades do instrumento, ou seja, permitir colher dados que levassem à identificação das concepções alternativas pré-selecionadas para identificar neste estudo. Outras razões que nos levaram a considerar a terceira versão apta para ser administrada como pré e pós-teste foi o facto de as questões cumprirem os critérios sugeridos por Schmidt et al. (2007):

- Apenas uma estratégia de raciocínio conduz a uma resposta aceite. Veja-se na questão número um, em que é apresentada a reação química de combustão do magnésio, que pode ser explicada pelos três modelos de interpretação das reações de oxidação-redução. A manifestação, por parte do aluno, de preferência por um dos modelos, conduz a uma única resposta coerente com esse modelo. Assim, por exemplo, se a preferência do aluno for em relação ao modelo do oxigénio, uma resposta que se afigura como coerente com este modelo é "o magnésio é oxidado porque capta oxigénio" e não uma outra resposta como "o magnésio é oxidado porque cede eletrões".
- Estratégias de raciocínio que não conduzam a uma resposta aceite devem conduzir a apenas um distrator, ou seja, deve existir uma correspondência unívoca entre uma determinada concepção alternativa e uma de entre várias possibilidades de resposta apresentadas aos alunos.
- Um distrator deverá apresentar-se como atraente aos alunos que detêm determinadas concepções alternativas. Ora conhecendo nós, previamente, com base na revisão de literatura efetuada, quais as concepções alternativas identificadas relativamente aos conceitos de oxidação-redução, tal permitiu-nos incluir, nas possibilidades de resposta, as correspondentes à eventual manifestação de tais concepções por parte dos alunos.

Schmidt et al. (2007) referem, ainda, que uma questão que se destina à identificação de concepções alternativas não deverá ser considerada válida se "uma estratégia de raciocínio suportada em concepções alternativas conduzir a uma resposta aceite" (p. 271). De facto, da revisão de literatura que efetuámos, parece-nos ser consequente afirmarmos que um raciocínio suportado em concepções alternativas não poderá conduzir o aluno a uma resposta cientificamente aceite. Se tal acontecesse, seria necessário reformular a questão em causa. Da análise das respostas às duas versões

pilotadas do questionário, não observámos evidências de respostas cientificamente aceites com base em raciocínios suportados em concepções alternativas. Os alunos que manifestaram concepções alternativas identificadas na literatura deram respostas que foram por nós antecipadas por serem coerentes com tais concepções.

Também o tempo despendido pelos alunos para a realização dos questionários se mostrou adequado, em média 30 minutos. Schmidt et al. (2007) administraram os seus questionários para identificarem concepções alternativas relativas a conceitos da *eletroquímica* em 40 minutos; nós fizemo-lo de forma compatível com o tempo de duração de uma aula, que é de 45 minutos. Os restantes 15 minutos foram necessários para fornecermos, aos alunos, as instruções necessárias à realização do teste e para a distribuição e recolha.

Assim, administrou-se a terceira versão como pré e pós-teste da nossa amostra do estudo principal, cujos resultados daremos conta no capítulo quatro.

3.3.3- Concepção do programa de intervenção.

Tivemos em consideração que as estratégias deveriam adequar-se aos conteúdos a lecionar, ao espaço, tempo, recursos materiais existentes e à recetividade dos alunos. Se concordámos com Taber (2002a) ao considerar que a sensibilidade do professor é o elemento que melhor identifica as concepções alternativas então, deveríamos fazer uma extensão dessa sensibilidade a todo o processo de mudança conceptual, inclusive, à escolha das estratégias para a concretizar.

Os autores do modelo CCM preconizam atividades abertas, que permitam aos alunos testar e questionar as suas ideias com autonomia e independência. À luz da literatura revista, também não poderíamos deixar de recorrer à História da Química, atendendo a que os conceitos relativos às reações de oxidação-redução são explicados por três modelos históricos distintos, e analisarmos os dados dissonantes entre os três modelos. Recorremos, ainda, a breves biografias de cientistas, numa tentativa de contribuir para a humanização do tema.

Não esquecemos, também, que a abordagem histórica de determinado tema deve estar integrada numa estratégia global de mudança conceptual. Jensen e Finley (1995) oferecem-nos um exemplo que consideramos marcante. Os autores, pretendendo promover a mudança conceptual relativa ao conceito *evolução das espécies* com um conjunto alargado de alunos, colocaram em confronto as teorias de Lamarck e de Darwin através de uma abordagem histórica e recorrendo a estratégias e recursos

didáticos apropriados tais como: textos argumentativos e descritivos das teorias de Lamarck e Darwin, exemplo de uma atividade laboratorial realizada no século XIX em que foram cortadas as caudas a sucessivas gerações de ratos, o que não resultou em nascimentos de ratos com caudas mais curtas ou ausentes; tal contradizia as ideias de Lamarck que defendia a hereditariedade de caracteres adquiridos. Esta abordagem está integrada no modelo de mudança conceptual que os autores usaram e implementaram nas salas de aula: o modelo PSHG. Relativamente aos resultados obtidos, Jensen e Finley (1995) referem que esses "resultados indicam que a utilização de materiais históricos em conjunção com uma estratégia de mudança conceptual são muito promissores" (p.147). Isto mesmo fizemos também com os nossos alunos: através de uma abordagem histórica e utilizando estratégias e recursos didáticos que considerámos adequados e que explicaremos adiante, colocámos em confronto os três modelos históricos que explicam os conceitos de oxidação-redução integrados numa estratégia global de mudança conceptual esperando, de acordo com a literatura revista, que o programa de intervenção que desenvolvemos, contribuísse para a mudança conceptual que pretendíamos: o abandono das concepções alternativas relativamente aos conceitos de oxidação-redução, em favor dos conceitos científicos.

Voltemos ao triângulo de Johnstone para relembrar que a existência de muitas das concepções alternativas se deve ao estudo, em simultâneo, nos três níveis do triângulo: o nível Macro, Sub-micro e Representacional. Uma sequência de ensino dos conceitos relativos à oxidação-redução, que se inicie ao nível Macro, depois ao nível Sub-micro e finalmente, ao nível Representacional, seria mais adequada para a prevenção das concepções alternativas. Ora, o presente estudo situa-se mais "a jusante" da prevenção das concepções alternativas, ou seja, é focado na sua identificação e tem como propósito, recorrendo a estratégias implementadas na sala de aula como forma de tratamento, conduzir à mudança conceptual. De facto, consideramos que o triângulo de Johnstone terá grande utilidade, em situações de ensino formal, na prevenção das concepções alternativas, isto é, a implementação de estratégias em sala de aula de acordo com as sugestões de Johnstone será útil para um ensino que ainda não ocorreu. Mas, então, o que fazer com as concepções alternativas já existentes, decorrentes de aprendizagens anteriores e da vida quotidiana dos alunos? É aqui que a nossa dissertação poderá dar um contributo. Reconhecendo que, no ensino das ciências, a prevenção da construção de concepções alternativas parece ser tão importante quanto o seu tratamento, a implementação das sugestões de Johnstone certamente evitaria a

construção de muitas concepções alternativas que resultam do ensino formal. Ora, uma vez que não introduzimos novos conceitos, em todas as atividades que desenvolvemos estivemos, conscientemente, a trabalhar 'algures' no interior do triângulo de Johnstone, ou seja, com os três níveis, Macro, Sub-micro e Representacional, em simultâneo. Por conseguinte, consideramos não incorrer em contradição com as sugestões de Johnstone, já que, para responder à questão de investigação formulada, que é a principal finalidade do nosso estudo, será necessário tratar as concepções alternativas associadas a conceitos de oxidação-redução já conhecidos dos alunos, com recurso a estratégias em sala de aula delineados a partir da revisão de literatura efetuada e desenvolvidas propositadamente para, neste estudo, promover a mudança conceptual.

Concebemos três atividades a implementar como tratamento, com a intenção de as desenvolvermos com os alunos em duas aulas de 135 minutos de duração. As atividades estão divididas em duas partes a que demos a designação *As reações de oxidação-redução revisitadas parte 1 e parte 2* (ver apêndice C). Na parte 1 são revisitados os modelos do oxigénio e da transferência de eletrões, enquanto na parte 2, revisita-se o modelo do número de oxidação.

Uma vez que os conceitos relativos às ligações químicas são subsunçores necessários para avançarmos para os conceitos de oxidação-redução, tornou-se necessário averiguar o domínio daqueles conceitos por parte dos alunos. Assim, antes da implementação da primeira parte das atividades, para além de confirmar com os professores da turma que o tema *Ligação Química* havia sido lecionado no 10º ano a estes mesmos alunos, decidimos desenvolver uma atividade de introdução que se destinou a efetuar, com os alunos, uma revisão sobre a ligação química (ver apêndice B).

Mais concretamente, as atividades que concebemos e desenvolvemos propositadamente para implementação como tratamento, são as seguintes:

1- Uma atividade introdutória em que revisitamos os três tipos de ligação química: covalente, iónica e metálica;
2- Três textos biográficos de Lavoisier, Ostwald e Pauling. Pretendeu-se que os alunos fizessem um breve enquadramento histórico dos modelos e dos contributos dados por estes cientistas, humanizando o tema;
3- Textos argumentativos relativos a cada modelo, incluindo algumas citações dos autores desses modelos. Pretendeu-se que os alunos confrontassem o

modelo em estudo com o que o antecedeu e identificassem os eventos dissonantes que levaram à adoção do novo modelo;

4- Três atividades experimentais, cada uma relativa aos modelos de *oxigénio*, *transferência de eletrões* e *número de oxidação*. Para o modelo do oxigénio, proporcionámos a oportunidade de os alunos provocarem a combustão da fita de magnésio; para o modelo de transferência de eletrões propusemos a atividade designada por *árvore de cobre* que consiste na oxidação do cobre metálico pelos iões de prata em solução; para o modelo do número de oxidação propusemos a oxidação de um álcool a aldeído, mais especificamente, do etanol a etanal. Pretendeu-se com estas atividades experimentais, proporcionar aos alunos a ponderação de eventos contraditórios instigadores do conflito cognitivo;
5- Questões de interpretação dos textos argumentativos e das atividades experimentais. Pretendeu-se que as alunas explicitassem os conceitos de *oxidação* e de *redução* de acordo com cada um dos modelos interpretativos e que distinguissem as situações em que poderiam aplicar cada um desses modelos;
6- Como atividade final, propusemos a elaboração de um mapa conceptual relativo aos conceitos e aos três modelos de interpretação das reações de oxidação-redução.

Todas as atividades foram concebidas com base no Conceptual Change Model, de um modo geral, são constituídas por: leitura e análise de textos com questões de resposta aberta, comparação e contraste de diferentes modelos explicativos dos fenómenos de oxidação-redução, realização de atividades experimentais e construção de mapas conceptuais. Considerámos que a diversificação das atividades, ao invés de optar por apenas um mesmo tipo, favoreceria a mudança conceptual, evitando a monotonia e apelando à utilização de diferentes competências. Esta consideração está recomendada na literatura; Hayes, Goodhew, Heit e Gillan (2003) chamam-lhe *Princípio da Diversidade*. Numa tentativa de promover a mudança conceptual em crianças relativa a conceitos sobre a forma da Terra (plana ou esférica), estes autores desenvolveram um estudo comparativo para provarem que a utilização de apenas um tipo de recursos didáticos é menos eficaz do que a utilização de vários, como por exemplo: entrevistas, questionários, desenhos feitos pelos alunos, animação, vídeos, imagens computacionais, fotografias, analogias e explicações. Também com o objetivo de promover a mudança

conceptual, Stepans (1994) apresenta-nos uma série de 90 atividades para sala de aula baseadas no modelo CCM. São todas atividades laboratoriais, maioritariamente na área da Física, abordando temas como por exemplo, matéria, densidade e pressão. São atividades que, pela sua forma e conteúdos, considerámos mais direcionadas ao nosso terceiro ciclo do ensino básico, mas nas quais também nos inspirámos para conceber as atividades laboratoriais para a parte metodológica desta dissertação.

Na concepção das atividades também tivemos em consideração a avaliação dos alunos sugerida por Schmidt, Saigo e Stepans (2006), autores do modelo CCM. A avaliação, proposta pelos autores, deverá ser feita relativamente ao comportamento dos alunos e à apropriação de conceitos (ver anexo B). Os autores distinguem dois tipos de avaliação: 1) de disposições ou comportamentos dos alunos, e 2) dos conteúdos. Na avaliação das disposições, os autores apresentam-nos uma lista de expectativas-alvo, ou seja, um conjunto de comportamentos que se espera que os alunos revelem, bem como o grau de satisfação ou cumprimento dessas expectativas (a expectativa é satisfeita, a expectativa está em desenvolvimento e a expectativa não é satisfeita). Os autores reconhecem que, não sendo uma avaliação quantitativa nem sumativa, será certamente útil para proceder a ajustamentos no processo de aprendizagem e para comunicar com os alunos e seus encarregados de educação. A avaliação de conteúdos apresenta expectativas-alvo que são apropriadas para a construção de instrumentos de avaliação sumativa que conduzam à atribuição de uma classificação final numérica. Esses instrumentos são, por exemplo, portefólios, projetos, apresentações, resolução de problemas, relatórios escritos, mapas conceptuais e testes escritos, entre outros. Propõem, inclusive, os testes TTT desenvolvidos por Peterson, Treagust e Garnett (1986) para o diagnóstico de concepções alternativas, que já referimos. Muitos destes instrumentos, recomendados para a avaliação sumativa, foram também referidos como estratégias de aprendizagem ao longo das várias fases do modelo CCM e que cumpriam, então, objetivos formativos e não a obtenção de uma classificação final. A avaliação formativa esteve, portanto, implícita nas atividades que desenvolvemos, como é próprio de todos os modelos de ensino construtivistas. Para além de promoverem a mudança conceptual, as atividades também foram desenhadas por forma a facilitar e induzir os comportamentos que são avaliados de acordo com os autores do CCM. Assim, por exemplo, quando questionamos os alunos sobre o que entendem por *reação de oxidação-redução*, estamos a induzir a expetativa-alvo *compromisso com uma posição pessoal em resposta a um desafio*, pois obrigamos o aluno a comprometer-se com um

dos três modelos de interpretação daquelas reações; ao promovermos um debate em que os alunos explicam as razões da sua resposta à questão anterior e por que razão discordam, eventualmente, da resposta de outros colegas, estamos a induzir as expetativas-alvos *partilha ideias com o grupo, audição das ideias dos colegas de turma, confrontar e testar as opiniões pessoais* e *respeito pelas ideias e sugestões dos colegas de turma*.

Em relação ao conteúdo histórico das atividades, tivemos em consideração as propostas elaboradas por Leite (2002). No seu artigo, a autora propõe uma lista de verificação para analisar o conteúdo histórico de manuais escolares e, como forma de validação dessa lista, aplicou-a a vários manuais de Física portugueses. A lista de conteúdos recomendados é extensa, pelo que considerámos apenas as sugestões mais adequadas ao nosso estudo: inclusão de dados biográficos dos cientistas (datas de nascimento e morte, nacionalidade, data dos principais trabalhos ou descobertas, algumas características pessoais ou episódios das suas vidas), apresentação da Ciência como uma construção (algumas descobertas são mencionadas e descritas, incluindo controvérsias e convulsões), utilização de materiais históricos para a apresentação de informação (fotografias dos cientistas, textos e experiências originais efetuadas pelos cientistas, textos com conteúdo histórico) e relação dos cientistas e do seu trabalho com o contexto histórico-social em que viveram.

Na subsecção seguinte, 3.3.4- Desenvolvimento do programa de intervenção, fazemos algumas considerações quanto à pilotagem das atividades para, depois, na secção 3.4- Implementação do programa de intervenção descrevermos cada uma das atividades de acordo com as fases do Conceptual Change Model.

3.3.4- Desenvolvimento do programa de intervenção- estudo piloto

As atividades do programa de intervenção foram sofrendo alterações devido a refinação e melhorias que introduzimos pela análise dos resultados das pilotagens. Sendo os alunos da mesma Escola e da mesma turma, a difusão experimental é uma variável estranha que, potencialmente, poderia afetar a validade do nosso estudo. Ou seja, até que ponto os alunos que participaram na pilotagem das atividades não passariam as informações sobre o teor das mesmas aos alunos do grupo experimental? Averiguámos junto dos professores desta turma como procediam na realização dos testes de avaliação dos dois turnos. Referiram-nos que estes realizavam testes separados, por vezes com dias de diferença, sendo os testes iguais, ou apresentando

alterações numéricas e que as classificações obtidas nos testes pelos alunos dos dois turnos haviam sido semelhantes. Assim, a troca de informações entre os dois turnos, a existir, não parecia ter implicações relevantes no seu desempenho nos testes. Mesmo assim, explicámos aos alunos que os resultados das atividades não teriam consequências nas suas avaliações na disciplina em que iria decorrer a intervenção. Também, para minimizar a difusão experimental, tentámos que o tempo que mediou entre a pilotagem e a implementação das atividades no estudo principal fosse tão breve quanto possível; assim, a diferença de tempo entre a pilotagem das atividades e a utilização das mesmas no estudo principal foi cerca de uma semana. Esta diferença de tempo foi a necessária para analisarmos os resultados das pilotagens e introduzirmos melhorias, mas também decorreram da disponibilidade e conveniência dos alunos e seus professores, já que o nosso estudo não poderia perturbar o normal decurso das aulas.

O programa de intervenção consistiu no conjunto de atividades divididas em *atividade introdutória* e *as reações de oxidação-redução revisitadas parte 1 e parte 2*, respetivamente.

A atividade introdutória foi realizada numa aula de discussão em grande grupo. Os alunos revisitaram os conhecimentos prévios acerca da tabela periódica dos elementos químicos, seu posicionamento nos grupos de acordo com o número de eletrões de valência, a regra do octeto e a tendência para a formação de iões.

Na primeira parte das atividades, abordámos os modelos do *oxigénio* e da *transferência de eletrões*; esta fase foi desenvolvida na primeira aula de 135 minutos de duração e nela, incluímos a atividade introdutória. Na segunda parte das atividades, abordámos o modelo do *número de oxidação* ao longo da segunda aula de 135 minutos.

Durante as aulas em que decorreu a intervenção, foram fornecidas cópias das atividades e a participação e o diálogo em grande grupo foram encorajados por forma a conseguir o envolvimento das alunas.

Na atividade experimental número um- *combustão do magnésio*- e número dois- *a árvore de cobre*- as alunas trabalharam em pequeno grupo, tendo sido divididas em três grupos por suas escolhas. A atividade experimental número três- *oxidação do etanol*- e restantes atividades escritas foram implementadas com o grupo-turma. Nas atividades experimentais, atendeu-se às habituais regras de segurança em laboratório com as quais as alunas já estavam familiarizadas; nomeadamente, a utilização de equipamentos de proteção individual.

Tendo sido previamente pilotadas, as reformulações que fizemos entre a pilotagem das atividades e a sua implementação no estudo principal, resultaram de uma melhor gestão, da nossa parte, do tempo de aula, no grupo experimental. Decorrente de uma maior experiência da nossa parte, conseguimos, no grupo experimental, rentabilizar os tempos despendidos em alguns procedimentos morosos, tais como a procura de reagentes e materiais e a montagem da atividade experimental número três- *oxidação do etanol*. Efetivamente, durante a pilotagem desta última atividade, a sua montagem - típica de uma destilação- apresentou algumas dificuldades pelo facto de não dispormos de materiais de vidro esmerilados; tivemos de recorrer a rolhas de cortiça perfuradas que não garantiram um correto isolamento, já que parte do etanal se perdia sob a forma de vapor antes de entrar no condensador. Aquando da implementação desta atividade no grupo experimental, corrigimos esta situação com uma melhor adequação da dimensão dos instrumentos de vidro e de um melhor isolamento com recurso a silicone. Para a concretização destas correções, contámos com o empenho das alunas e as sugestões da professora da disciplina de Análises Químicas. A professora Coordenadora dos Cursos Profissionais mostrou interesse em que este trabalho pudesse vir a constituir-se como um futuro tema para Prova de Aptidão Profissional dos alunos do Curso Técnico de Análise Laboratorial.

3.4- Implementação do programa de intervenção

A implementação das atividades destinadas a promover a mudança conceptual seguiu, como referimos, o modelo CCM e incluiu seis fases: (1) Compromisso com uma posição; (2) Expor as ideias; (3) Confrontar as ideias; (4) Acomodar os conceitos; (5) Extensão do conceito e (6) Ir além, que se relatam a seguir mas antes, daremos conta da implementação da atividade introdutória. Em abono da coerência do texto, decidimos incluir nesta secção algumas considerações sobre a concepção de cada uma das questões e atividades à medida que as abordamos, de acordo com as diretrizes gerais que descrevemos em 3.3.3- Concepção do programa de intervenção. Também por nos parecer mais coerente daremos conta, aqui nesta secção, de algumas diferenças ocorridas entre a pilotagem e a implementação definitiva das atividades bem como as respostas dos alunos do grupo experimental.

3.4.1- Atividade introdutória

O objetivo da atividade introdutória (Apêndice B) foi o de relembrar conceitos relativos à Ligação Química que consideramos serem subsunçores necessários para os conceitos de oxidação-redução: é necessária uma identificação, por parte dos alunos, das ligações químicas existentes em determinado composto para decidirem qual o modelo a usar para a interpretação das reações químicas de oxidação-redução.

As alunas começaram por relembrar o conceito *ligação covalente* utilizando os modelos atómicos tridimensionais fornecidos na aula. Uma vez que a linguagem e os diferentes significados dos conceitos são fontes de concepções alternativas, considerámos conveniente esclarecer o conceito de *partilha* de eletrões aplicado às ligações químicas covalentes. Com efeito, o termo *partilha* tem diferentes significados na vida quotidiana, por exemplo, na linguagem do Direito, *partilha* refere-se à divisão de uma herança. Assim, na questão número um, do conjunto de vários significados do termo *partilha* (*dividir em várias partes, repartir, porção que toca a cada um, possuir com outros* e *ter em comum*), solicitámos às alunas que escolhessem qual deles lhes parecia ser mais adequado para descrever a partilha de eletrões entre dois átomos numa ligação covalente. Verificou-se que as opções recaíram pelo último termo: *ter em comum*. Um exemplo de resposta foi: "O significado que me parece mais adequado para descrever a partilha de eletrões é *ter em comum* pois os eletrões de uma ligação covalente pertencem a ambos os átomos da ligação". Revimos o conceito relativo à polaridade das ligações químicas covalentes e relembrámos, depois, a formação de iões por transferência de eletrões e a formação da ligação iónica por atração eletrostática entre iões de carga elétrica oposta. Insistimos, aqui, nas diferenças entre os conceitos *partilha* de eletrões e *transferência* de eletrões.

A ligação metálica foi revista com a turma de acordo com o modelo atualmente aceite para a sua descrição no qual "podemos imaginar os átomos metálicos como um arranjo ordenado de iões positivos imersos num mar de eletrões de valência deslocalizada" (Chang, 2005, p. 459). Gerou-se uma pequena discussão sobre o significado do conceito *modelo em Ciência*, como uma visão e conjunto de explicações acerca de determinado tema, que vigora numa dada época até que surja um evento, fenómeno ou observação que contradiga as explicações fornecidas. Como exemplo, de acordo com as alunas, a teoria geocêntrica vigorou até que "Galileu inventou o telescópio e observou que era o Sol que estava no centro e não a Terra". Independentemente da exatidão desta explicação, parece-nos relevante as alunas terem

noção do avanço da Ciência por ruturas e crises, pelo que consideramos existir nas alunas, uma pré-disposição e flexibilidade favorecedoras da mudança conceptual que pretendemos.

Após terem sido relembrados os três tipos de ligações químicas (covalente, iónica e metálica), as questões dois e três pretenderam levar as alunas a consolidar e resumir tais conceitos. Na questão dois foram apresentados vários compostos, como por exemplo, nitrato de prata, água, cobre, e solicitou-se às alunas que identificassem os tipos de ligação química neles existentes. As alunas não tiveram dificuldade em responder a esta questão. Salientamos que recorreram a tabelas de iões que traziam consigo e que usavam habitualmente nas suas aulas. Na questão três, propôs-se às alunas que elaborassem um mapa conceptual com termos relativos ao tema Ligação Química. Para a concepção desta questão, seguimos as recomendações de Taber (2002a) e Regis e Albertazzi (2004), quanto à construção de mapas conceptuais pelos alunos em sala de aula e que nos referimos na revisão de literatura, ou seja, fornecemos nós os termos que constituiriam conceitos-chave para as alunas relacionarem e atribuírem significado. A nossa intenção foi, também, proporcionar um contacto com mapas conceptuais e desenvolver capacidades inerentes à sua construção porque, no final do programa de intervenção, iriamos solicitar aos alunos que construíssem um outro mapa conceptual com conceitos relativos às reações de oxidação-redução, com o propósito de incentivar a mudança conceptual. A figura 15 mostra o mapa construído em sala de aula.

Este mapa conceptual foi construído pelo grupo-turma quer do estudo piloto, quer do estudo principal. As alunas de ambos os grupos conheciam mapas conceptuais, mas nunca os haviam construído, pelo que revelaram algumas dificuldades iniciais; nomeadamente, organizar os termos e colocá-los no mapa, ou seja, faltavam-lhes critérios para decidir sobre a hierarquização e subordinação de conceitos ao tema em causa. As orientações que proporcionámos a ambos os grupos, do estudo piloto e do estudo principal, foram as sugeridas por Novak (2000), sobre "como construir um mapa conceptual" (p. 227). Oralmente, fornecemos as seguintes indicações à medida que as alunas avançavam na construção do mapa: (1) começar a construção do mapa colocando o conceito mais geral e inclusivo no topo: Ligações químicas; (2) selecionar subconceitos para colocar sob o conceito geral; as alunas sugeriram os conceitos: *ligação covalente, ligação iónica, ligação metálica*;

Figura 15. Mapa conceptual sobre o tópico Ligações Químicas

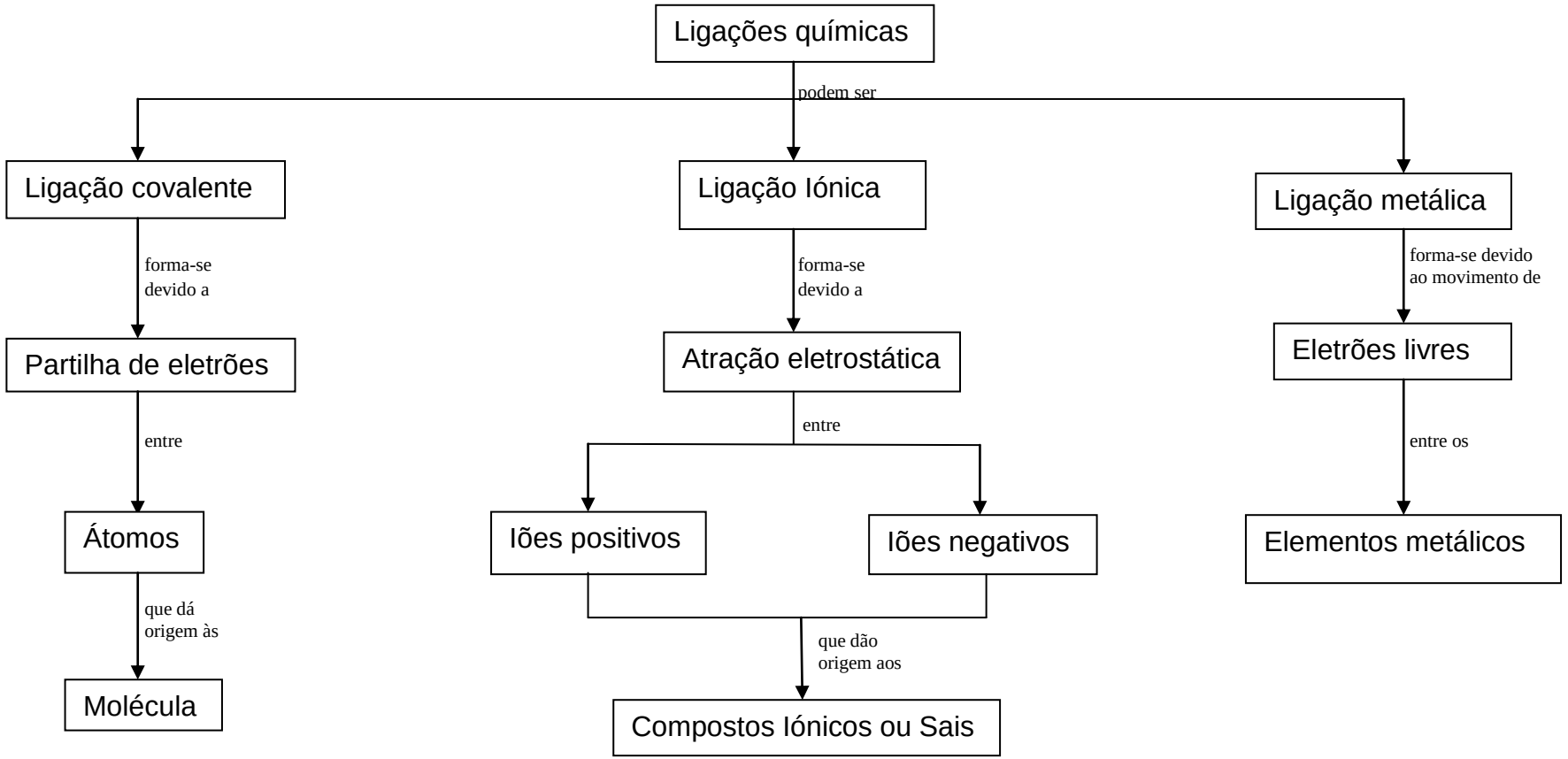


Figura 15- Mapa conceptual sobre o tópico *Ligações Químicas* em resposta à questão número três da atividade introdutória

(3) ligar os conceitos com linhas. Assinalar estas linhas com palavras de ligação, para gerar significado e estabelecerem relação entre dois conceitos por forma a serem lidos como uma afirmação válida; (4) prosseguir a construção do mapa adicionando os restantes conceitos, sempre de uma forma hierarquizada, do geral para o particular. Salientámos o caráter dinâmico dos mapas conceptuais; o mapa construído poderia sempre ser alterado e melhorado, pois como afirma Novak (2000): "Não existe uma forma pré-definida de se desenhar um mapa conceptual. À medida que a compreensão das relações entre os conceitos muda, o mesmo acontece com os mapas" (p. 228).

3.4.2- Primeira fase do modelo CCM: compromisso com uma posição

Nesta primeira fase que decorreu ao longo da primeira aula da intervenção, pretendíamos que as alunas se comprometessem com um dos modelos de explicação das reações de oxidação-redução, pois o compromisso é necessário para a tomada de consciência desse modelo. Assim, na primeira parte das atividades (Apêndice C), na questão um, solicitámos às alunas "vais escrever o que entendes por reação de oxidação-redução". Verificámos que todas as alunas deram respostas que denotam um compromisso com o modelo de transferência de eletrões. Um exemplo dessas respostas foi: "São reações em que um elemento se oxida e outro se reduz, há uma perda e um ganho de eletrões". Esta situação também já havia ocorrido na pilotagem das atividades. É um resultado que não foi surpreendente, já que havíamos confirmado a preferência dos alunos por aquele modelo nas respostas ao pré-teste. Assim, nesta primeira fase do modelo CCM, não houve manifestação de preferências pelo modelo do oxigénio nem pelo modelo do número de oxidação. Esta ocorrência é consistente com a preferência dos alunos pelo modelo de transferência de eletrões e está referida na literatura (Ringnes, 1995), devendo o modelo do número de oxidação ser encorajado em detrimento dos restantes (Schug, 1975).

3.4.3- Segunda fase do modelo CCM: expor as ideias

Nesta fase do modelo CCM, que também decorreu ao longo da primeira aula da intervenção, pretendíamos que as alunas partilhassem o conceito acerca do que são as reações de oxidação-redução. Para tal, na questão dois, solicitámos "Lê em voz alta o que escreveste e ouve também o que os teus colegas escreveram". Foi aqui que, por comparação entre as respostas, tal como era solicitado na questão três, "confronta e compara a tua opinião com a dos teus colegas", constatámos em conjunto a

unanimidade das respostas pelo compromisso com o modelo de transferência de eletrões. Deste modo, as questões quatro "Há alguma resposta de um colega teu com a qual não concordes? Se sim, qual e por que não concordas" e cinco "Depois de ouvires as respostas dos teus colegas, há alguma que aches que esteja mais acertada do que a tua? Se sim, qual e porquê?", que pressupunham um debate destinado a confrontar várias respostas diferentes, não foram exploradas nesta fase. Esta situação já havia ocorrido durante a pilotagem.

3.4.4- Terceira e quarta fases do modelo CCM: confrontar as ideias e acomodar os conceitos

Ainda durante a primeira aula da intervenção, a terceira e quarta fases do modelo CCM foram implementadas em simultâneo para cada um dos modelos de interpretação das reações de oxidação-redução.

Para levar as alunas a confrontar ideias, relativamente ao modelo do oxigénio, começaram por ler uma breve biografia de Lavoisier. Este cientista era conhecido das alunas, que se referiram ao Princípio da Conservação da Massa que haviam aprendido no terceiro ciclo do ensino básico; a Revolução Francesa também era conhecida pelas alunas, da disciplina de História todavia, como já se havia observado no estudo piloto, as alunas não pareciam associar Lavoisier àquele acontecimento histórico, ou seja, para estas alunas, Lavoisier estaria descontextualizado da sua época. Ainda durante esta primeira aula pretendeu-se com os textos dois e três (ver parte 1 das atividades no apêndice C), que as alunas confrontassem as explicações das reações de combustão à luz dos modelos de Lavoisier e do flogisto e que identificassem os motivos que levaram Lavoisier a ter contestado aquela teoria. Assim, na questão seis perguntámos às alunas "Como eram interpretadas as reações de combustão de acordo com a teoria do flogisto de Stahl?". Uma dessas interpretações foi: "Para uma substância arder, precisa de uma substância inflamável chamada flogisto que se perde para o ar durante a combustão". Quanto às observações e experiências que teriam levado Lavoisier a refutar a teoria do flogisto, escreveu uma aluna, em resposta à questão sete "Quais as observações e experiências que levaram Lavoisier a refutar a teoria do flogisto?": "Lavoisier observou que durante a combustão do enxofre, este absorveu o ar e a substância formada era mais pesada do que o enxofre", o que constitui uma contradição relativamente à teoria de Stahl pois se o enxofre perdia o flogisto, então deveria ficar menos pesado do que o seu óxido.

Para acomodar os conceitos *oxidação* e *redução*, na questão oito, solicitámos às alunas: "Dentro do círculo que representa o modelo do oxigénio vais definir o que é a oxidação e a redução de acordo com este modelo", tendo obtido as respostas evidenciadas na figura 16:

Figura 16. Definição de oxidação e de redução de acordo com o modelo do oxigénio

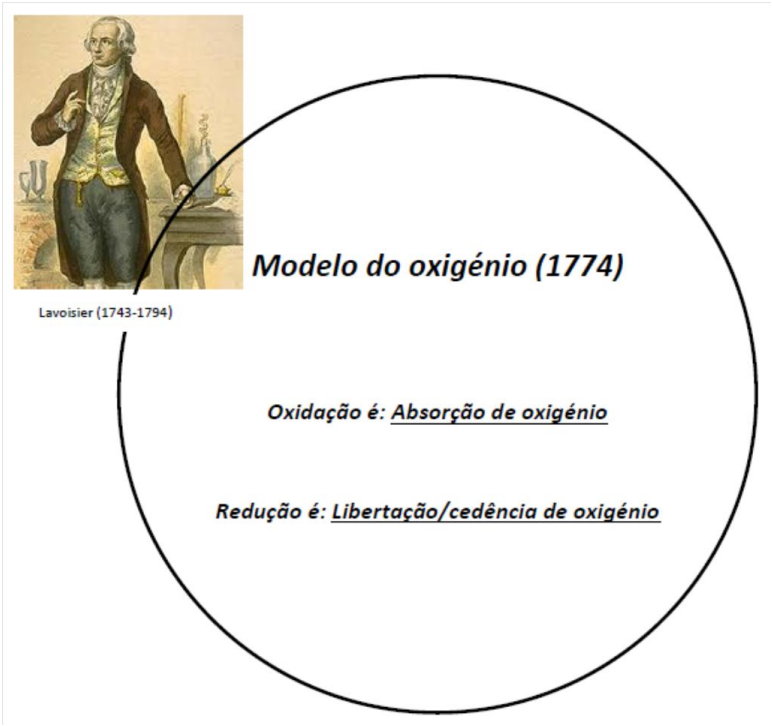


Figura 16. Definição de *oxidação* e *redução*, de acordo com o modelo do oxigénio, dado pelas alunas.

A atividade experimental número um, a combustão da fita de magnésio, foi desenvolvida com a intenção de levar as alunas a acomodar os conceitos de *oxidação* e *redução* e de confrontar as ideias da teoria do flogisto com a de Lavoisier, promovendo o conflito cognitivo. Após a realização da atividade, uma aluna do estudo piloto questionou se realmente o óxido de magnésio teria uma maior massa do que o magnésio tal como Lavoisier afirmava, contradizendo a teoria do flogisto. Sugerimos à aluna a repetição da atividade, acompanhada da determinação das massas do magnésio e do seu óxido. A cinza do óxido de magnésio tinha uma massa menor do que o metal. As alunas, em conjunto, não demoraram a encontrar uma hipótese explicativa: Lavoisier efetuou as experiências em vasos fechados enquanto nós, trabalhámos em sistema

aberto por não ser possível replicar as condições experimentais em que Lavoisier trabalhou e daí, não foi possível medir as massas das substâncias intervenientes no estado gasoso, o que resultou na diminuição da massa do produto da reação química em estudo.

Na questão nove, "Explica o que ocorreu durante esta reação química de acordo com o modelo do oxigénio de Lavoisier", as alunas interpretaram a reação química em estudo de acordo com o modelo do oxigénio: "O magnésio oxidou-se porque captou o oxigénio" e escreveram a respetiva equação química que era pedida na questão 10: $2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$.

Continuando a nossa primeira aula de intervenção, através do texto quatro introduzimos o modelo da transferência de eletrões e, no texto cinco, apresentamos uma breve biografia de Ostwald. Como esperávamos, as alunas, quer do estudo piloto quer do estudo principal, não conheciam este cientista pois só é mencionado no ensino superior.

Na questão 11, "De acordo com o Dicionário Integral da Língua Portuguesa (2009), transferência significa *ato ou efeito de transferir, mudar; passagem de um lugar para outro; deslocação; transladação.* Tendo por base esta definição, clarifica a noção de *transferência de eletrões* entre duas entidades químicas", pretendíamos que as alunas explicitassem o conceito *transferência de eletrões* para evitarem confundi-lo com outros significados da vida quotidiana relativamente ao termo *transferência*. Obtivemos como respostas a esta questão, por exemplo: "A transferência de eletrões é a deslocação de eletrões de uma entidade química para outra". Na questão 12, "O modelo do oxigénio tornou-se insuficiente para explicar as reações de oxidação-redução. Justifica esta afirmação explicitando a necessidade de um novo modelo de interpretação das reações de oxidação-redução", os modelos do oxigénio e da transferência de eletrões foram confrontados, tencionando-se, assim, promover o conflito cognitivo e levar as alunas a concluir acerca da insuficiência do modelo do oxigénio na interpretação de reações químicas de oxidação-redução com ausência de oxigénio. Um exemplo de resposta dada foi: "o modelo do oxigénio tornou-se insuficiente porque não explica as reações de oxidação-redução em que não há oxigénio e existe transferência de eletrões, como por exemplo, nos compostos iónicos". Ainda com o objetivo de confrontar estes dois modelos, na questão 13 solicitou-se às alunas "Volta a escrever a reação de oxidação do magnésio. Interpreta esta reação de acordo com o modelo de transferência de eletrões". Obtivemos a seguinte resposta, por exemplo: "$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$. O magnésio

oxidou-se porque cedeu eletrões, transformando-se no ião Mg^{2+}, o oxigénio reduz-se porque capta eletrões, transformando-se no ião O^{2-}". Para acomodar os conceitos de oxidação e redução, na questão 14, solicitámos às alunas "Voltando a representar os modelos de interpretação das reações de oxidação-redução por círculos, completa a figura seguinte com as definições de oxidação e de redução de acordo com o modelo da transferência de eletrões", tendo obtido a resposta mostrada na figura 17.

Figura 17. Definição de *oxidação* e *redução* de acordo com o modelo de transferência de eletrões

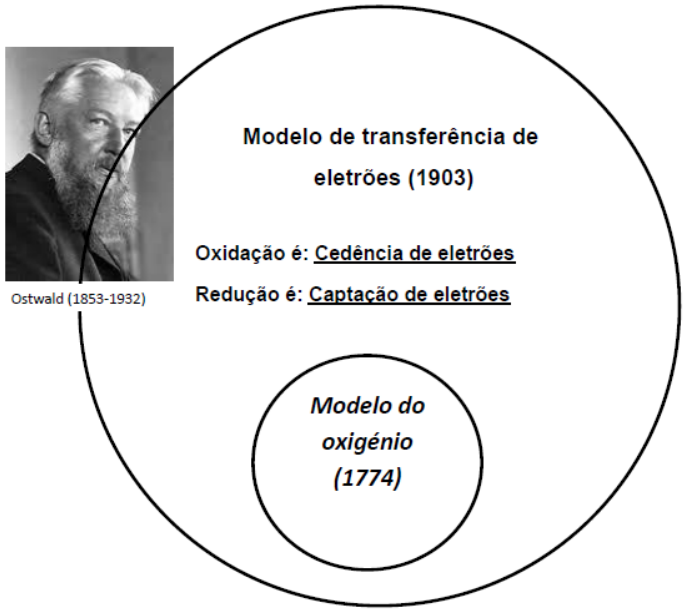


Figura 17. Definição de *oxidação* e *redução*, de acordo com o modelo de transferência de eletrões, dada pelas alunas.

Nas figuras anteriores, representámos os modelos explicativos das reações de oxidação-redução por círculos e, uma vez que o modelo de transferência de eletrões é mais abrangente do que o modelo do oxigénio, o círculo que representa este último está desenhado no interior do círculo que representa o primeiro. Para verificarmos este entendimento por parte das alunas, na questão 15 questionámos "Por que razão estamos a colocar o 'círculo' do modelo do oxigénio 'dentro' do círculo do modelo de transferência de eletrões?". Uma resposta obtida foi: "o modelo da transferência de eletrões também explica as reações de oxidação explicadas pelo modelo do oxigénio",

pelo que nos parece que as alunas entenderam a analogia que fizemos, círculos-modelos e a maior abrangência do modelo de transferência de eletrões.

Na segunda parte da primeira aula em que decorreu a nossa intervenção, na atividade experimental número dois, as alunas provocaram a oxidação do cobre metálico pelo ião prata em solução, reação química conhecida por *árvore de cobre*. É uma reação química clássica, possível de ser explicada com recurso ao modelo de transferência de eletrões, já que envolve substâncias iónicas e metais. O apêndice D mostra-nos um registo fotográfico desta atividade experimental. Pretendendo-se confrontar os modelos do oxigénio e de transferência de eletrões, na questão 16 pergunta-se às alunas se conseguiriam explicar a reação química que promoveram à luz do modelo do oxigénio. Eis um exemplo de respostas: "não porque nesta reação química não há nem cedência, nem captação de oxigénio", o que nos parece revelador de um entendimento quanto às limitações do modelo do oxigénio.

Pretendendo-se clarificar qual a espécie química que sofre oxidação e qual a que sofre redução, que evidências nos oferece a reação química para tirarmos essas conclusões e o que ocorreu ao nível subatómico, apresentaram-se as questões 17 a 21: "Por que razão a solução mudou de cor durante a reação química?", "Formou-se sobre a árvore de cobre, uma camada espessa de cristais pontiagudos. Tenta explicar a origem desses cristais: como apareceram, de onde vêm, são constituídos por que substância?", "Escreve a reação química global que ocorreu e explica-a de acordo com o modelo da transferência de eletrões", "Escreve a reação correspondente apenas à oxidação" e "Escreve a reação correspondente apenas à redução". Estas questões foram também uma tentativa, da nossa parte, de promovermos a mudança conceptual relativamente à concepção alternativa da não simultaneidade entre a reação de oxidação e a reação de redução. Assim, na questão 17, as respostas das alunas quanto à mudança de cor da solução aquosa de nitrato de prata, incluíram por exemplo: "A mudança de cor da solução deveu-se ao aparecimento do ião cobre em solução, proveniente da oxidação do cobre metálico do fio". Por outro lado, na questão 18, em que perguntámos qual a origem dos cristais pontiagudos que se formaram, eis um exemplo de resposta: "A origem desses cristais é o ião prata da solução. O ião prata reduziu-se a prata sólida que se depositou sob a forma de cristais". Estas reações químicas foram suficientemente rápidas para serem observadas, pelo que consideramos que, quer a oxidação, quer a redução e a sua simultaneidade, se tornaram claras para as alunas. Daqui decorreu que não houve dificuldade, na questão 19, em escrever e explicar a reação química global

que havia sido observada com base no modelo de transferência de eletrões: " $Cu_{(s)}$ + $Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + Ag_{(s)}$. O cobre, Cu, oxidou-se porque cedeu eletrões e o ião prata, Ag^{+}, reduziu-se porque captou eletrões". Também não houve dificuldade, por parte das alunas, nas questões 20 e 21, em identificar as semirreações de oxidação e de redução, respetivamente: para a semirreação de oxidação, "$Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$" e para a semirreação de redução, "$Ag^{+}_{(aq)} + e^{-} \rightarrow Ag_{(s)}$". Note-se que a reação global proposta pelas alunas não está acertada quanto às cargas mas não insistimos neste pormenor. Considerámos, na interpretação desta reação de oxidação-redução, ter havido um equilíbrio entre os níveis *macro*, *sub-micro*, e *representacional* do triângulo de Johnstone e pareceu-nos que as alunas não tiveram dificuldade em se movimentarem nos três níveis em simultâneo; afinal, o modelo de transferência de eletrões havia sido eleito pelas alunas como o preferido, de entre os três modelos.

Na segunda aula em que decorreu a intervenção, começámos por apresentar, no texto um (ver parte dois das atividades no apêndice C), uma breve biografia de Pauling. As alunas, quer do estudo piloto quer as do estudo principal, não conheciam este cientista; de facto raramente é mencionado ao nível do ensino secundário, apesar dos seus trabalhos sobre a Ligação Química serem abordados no currículo, tal como o comprovaram alguns comentários das alunas, que reconheceram a mnemónica de Pauling apresentada no fundo da foto que apresentámos na primeira questão e na figura 18, que é utilizada no ensino secundário para se estabelecer a ordem das orbitais atómicas e a configuração eletrónica dos átomos.

O texto dois faz uma descrição do modelo *número de oxidação* com ênfase no motivo que levou à sua aceitação pela comunidade científica e na definição de *número de oxidação*. As questões um, "Voltando a representar os modelos de interpretação das reações de oxidação-redução por círculos, completa a figura seguinte com as definições de oxidação e de redução de acordo com o modelo do número de oxidação", e três "Por que razão estamos a colocar o 'círculo' do modelo da transferência de eletrões e do modelo do oxigénio 'dentro' do círculo que representa o modelo do número de oxidação?", destinaram-se a acomodar os conceitos de *oxidação* e *redução* segundo este modelo e a oferecer a sua perspetiva mais abrangente. Um exemplo da definição de *oxidação* e *redução* dada pelas alunas, de acordo com o modelo do número de oxidação, está representado na figura 18. Já na questão três, na qual perguntámos por que razão se colocam os círculos correspondentes aos modelos do *oxigénio* e de *transferência de eletrões* 'dentro' do círculo correspondente ao modelo do *número de oxidação*; as

respostas obtidas foram, por exemplo: " o modelo do número de oxidação também explica as reações de oxidação-redução explicadas pelos modelos do oxigénio e da transferência de eletrões", pelo que nos parece que as alunas assumiram o caráter mais abrangente do modelo do número de oxidação relativamente aos outros dois.

Figura 18. Definição de *oxidação* e de *redução* de acordo com o modelo do número de oxidação

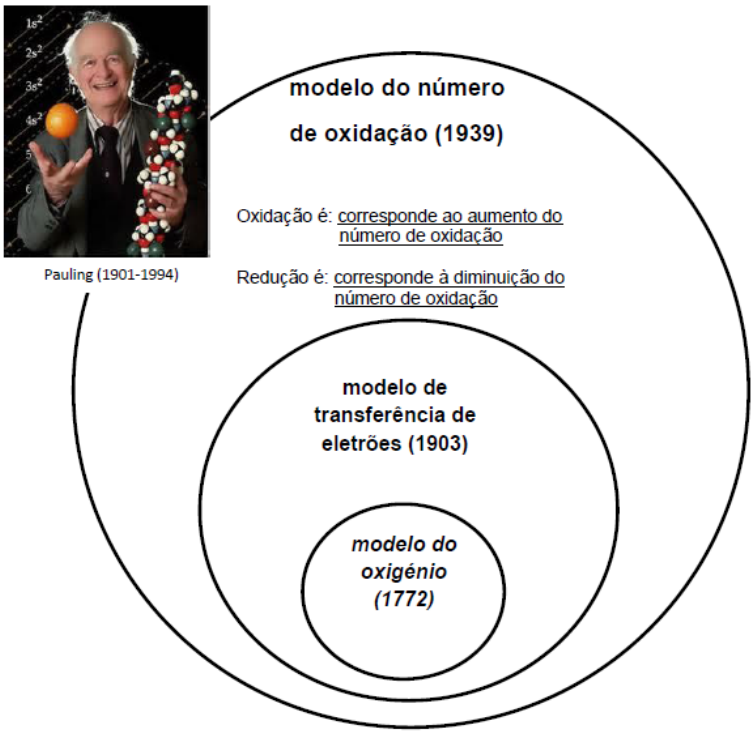


Figura 18. definição de *oxidação* e de *redução*, de acordo com o modelo do número de oxidação dado pelas alunas.

Na questão dois, na qual perguntámos quais são as limitações do modelo de transferência de eletrões que levaram à adoção do modelo do número de oxidação, pretendeu-se promover o confronto entre estes dois modelos. Uma das respostas obtidas foi: "o modelo de transferência de eletrões não permite explicar a oxidação e a redução dos compostos covalentes porque nestes compostos não há transferência de eletrões mas sim partilha". Esta resposta também parece confirmar a necessidade e utilidade de se distinguir os conceitos *partilha de eletrões* e *transferência de eletrões*, que fizemos na atividade introdutória.

Relativamente ao conceito *número de oxidação*, deu-se ênfase ao caráter abstrato do conceito, tal como sugeriram Sisler e Vanderwerf (1980). Apesar de as alunas conhecerem a existência das regras para o cálculo e atribuição dos números de oxidação e as consultarem nos seus apontamentos, as dificuldades na aplicação dessas regras foram, no entanto, notórias, quer no estudo piloto quer no estudo principal, tal como se havia constatado nas versões do pré-teste. Por conseguinte, na questão quatro, "Determina o número de oxidação do manganésio e do crómio, representados por x, nos iões indicados em baixo usando uma analogia com a balança. Nota que a balança não é equilibrada", pretendemos dar oportunidade de ultrapassar duas concepções alternativas documentadas na literatura relativas ao cálculo de números de oxidação tais como: (1) *o número de oxidação pode ser atribuído a iões poliatómicos, sendo que a carga elétrica desse ião indica o seu número de oxidação* e, (2) *num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga elétrica do ião*. Para a concepção desta questão, inspirámo-nos numa conhecida analogia da didática da matemática em que, para a resolução de equações do primeiro grau, se recorre a uma balança equilibrada. Ora, o cálculo de números de oxidação corresponde a resolver uma equação algébrica do primeiro grau, pelo que a comparação com uma balança poderia fazer todo o sentido para as alunas. A figura 19 representa a analogia efetuada.

Propôs-se às alunas que começassem por calcular o número de oxidação do manganésio no ião permanganato, MnO_4^-, somando os números de oxidação de ambos os pratos da balança e igualando à carga elétrica total do ião, *-1*, que se encontra representada na base da balança. Uma vez obtida a equação $x + 4 \times (-2) = -1$, esta foi depois resolvida pelas alunas, obtendo o número de oxidação do manganésio, *+7*. Procedendo da mesma forma para o cálculo do número de oxidação do crómio no ião dicromato, $Cr_2O_7^{2-}$, as alunas estimaram o número de oxidação do crómio, *+6*.

Na questão cinco, em que solicitámos às alunas "Volta a escrever as reação da combustão do magnésio e da 'árvore de cobre' e explica-as, agora de acordo com o modelo do número de oxidação", voltámos a confrontar os três modelos. Uma resposta obtida foi: "$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$. O magnésio oxidou-se porque o seu número de oxidação aumentou de *0* para *+2*, enquanto o oxigénio reduziu-se porque o seu número de oxidação diminuiu de *0* para *-2*. $Cu_{(s)} + Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + Ag_{(s)}$. O cobre oxidou-se porque o seu número de oxidação aumentou de *0* para *+2*, enquanto o ião prata reduziu-se porque o seu número de oxidação diminuiu de *+1* para *0*".

Figura 19. Analogia entre o cálculo de números de oxidação e uma balança desequilibrada

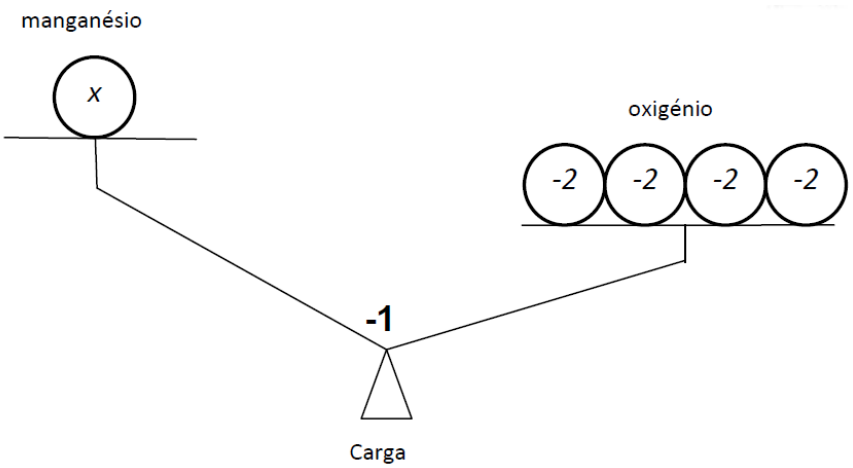


Figura 19. Analogia com uma balança desequilibrada usada para calcular o número de oxidação do manganésio no ião permanganato, MnO_4^-. No prato esquerdo da balança está representado um átomo de manganésio cujo número de oxidação se pretende calcular; no prato direito, estão representados quatro átomos de oxigénio, cada um deles com o número de oxidação -2. O 'desequilíbrio' da balança refere-se a que a soma dos números de oxidação ser igual à carga elétrica do ião, -1. No caso de uma entidade química neutra, os pratos da balança estariam equilibrados por a carga total ser nula.

De seguida, na segunda parte desta mesma aula, foi realizada a atividade experimental número três, a oxidação do etanol. No apêndice D apresentamos algumas fotos desta atividade. Destinou-se a acomodar o conceito *número de oxidação* e a confrontar os dois modelos, o de *transferência de eletrões* e do *número de oxidação*, promovendo assim o conflito cognitivo. Esta atividade consistiu na oxidação de um álcool- o etanol- a um aldeído- o etanal- pelo ião dicromato em meio ácido. Esta reação química é passível de ser explicada com base no modelo do número de oxidação, pois envolve compostos covalentes, em que não é aceite a existência de uma transferência de eletrões entre moléculas diferentes (Vollhardt e Schore, 2011). A reação envolve a formação de compostos intermédios de crómio em meio ácido e rearranjos intramoleculares; para uma descrição pormenorizada do seu mecanismo veja-se, por exemplo, Santos (2013, p.443). Para a sua concretização, recorreu-se a uma montagem de destilação simples. Durante a pilotagem, observaram-se fugas dos produtos gasosos obtidos, nomeadamente do etanal e tivemos dificuldade em controlar a temperatura,

dado que o seu aumento foi súbito, pelo que a mudança de cor da mistura reacional esperada, de laranja para verde, e o odor agradável a maçãs, evidências da reação de oxidação-redução pretendida, foram muito ténues. A literatura recomenda que não se ultrapassem os 60ºC (Vollhardt e Schore, 2011), pois a partir desta temperatura o aldeído é oxidado ao correspondente ácido carboxílico. Acautelámos o controlo de temperatura e a fuga de produtos gasosos introduzindo melhorias no isolamento- o que fez diminuir eventuais fugas nas juntas esmeriladas- e no controlo de temperatura através de um lento e gradual aquecimento regulado na manta de aquecimento. Decorreram cerca de 20 minutos até se começar a observar o início da reação, pelo que, entretanto, as alunas continuaram a realizar as restantes atividades.

Na questão seis, "Realizaste a reação indicada em baixo (a equação indicada não está acertada): $CH_3CH_2OH + Cr_2O_7^{2-} \rightarrow CH_3CHO + Cr^{3+}$", apresentámos a reação química estudada e solicitámos às alunas, na alínea 6.1, que estimassem os números de oxidação médios do carbono no etanol, no etanal e do crómio no ião dicromato e no ião cromato. Para o carbono no etanol, as alunas obtiveram o valor *-2* através da resolução da equação $2x - 2 + 6 = 0$ e para o carbono no etanal, obtiveram o valor *-1*, resolvendo a equação $2x - 2 + 4 = 0$. O número de oxidação do crómio, *+6*, no ião dicromato, já havia sido calculado na questão anterior e o número de oxidação do crómio no ião crómio (III), indicado pelas alunas, foi *+3*, igual à carga elétrica do ião, de acordo com as regras convencionadas.

Solicitámos, depois, às alunas, na alínea 6.2, que explicassem a reação química que estudaram de acordo com o modelo do número de oxidação. As respostas, por exemplo, foram: " O carbono oxidou-se porque o seu número de oxidação aumentou, passou de *-2* para *-1*. O crómio reduz-se porque o seu número de oxidação diminuiu, passou de *+6* para *+3*".

Na questão 6.3, "Poderias explicar a oxidação do etanol pelo modelo de transferência de eletrões e pelo modelo do oxigénio? Justifica", colocámos, de novo, os três modelos em confronto e perguntamos às alunas se poderiam explicar a oxidação do etanol à luz do modelo de transferência de eletrões e do modelo do oxigénio. As respostas foram, por exemplo: "não porque não há transferência de eletrões pois o etanol é um composto covalente e porque também não há nem cedência nem captação de oxigénio". Parece-nos, desta resposta, que as alunas aprenderam a distinguir os diferentes domínios de aplicação de cada um dos três modelos.

Findas a terceira e quarta fases do modelo CCM, *confrontar as ideias* e *acomodar os conceitos*, ainda na segunda aula em que decorreu a intervenção, voltámos com as alunas à primeira fase, a do *compromisso com uma posição*, retorno este que os autores do modelo CCM apelidam de *looping-back*. Relembrámos às alunas que se haviam comprometido com o modelo de transferência de eletrões e questionámos sobre qual dos três modelos abordados seria o mais poderoso e abrangente para explicar as reações de oxidação-redução. As alunas admitiram que seria o modelo do número de oxidação mas, pareceu-nos, terem-no feito com alguma hesitação e relutância, que nós interpretámos, de acordo com a literatura revista, como sinais de estarem a vivenciar, eventualmente, um conflito cognitivo.

3.4.5- Quinta fase do modelo CCM: extensão do conceito.

Ainda durante a segunda aula em que decorreu a intervenção, como tentativa de implementarmos a quinta fase do modelo CCM, *extensão do conceito*, inquirimos as alunas sobre quais as atividades experimentais que haviam realizado ao longo do ano letivo e em quais haviam aplicado os conceitos de oxidação-redução. As alunas deram exemplos de atividades no âmbito da volumetria de oxidação-redução, tais como: titulação da água oxigenada comercial, determinação do poder descorante da lixívia, determinação da concentração do ácido ascórbico em sumos de fruta, e doseamento do cálcio no leite e iogurtes. Convinha analisarmos as reações químicas envolvidas nessas atividades e interpretá-las de acordo com o modelo apropriado, todavia, o limite de tempo desta aula, em que nos foi permitido implementar a intervenção, não o permitiu.

3.4.6- Sexta fase do modelo CCM: ir além

Pretendendo implementar a sexta fase do modelo CCM *ir além*, as alunas deveriam ser solicitadas a procurar novas situações em que pudessem aplicar os conceitos de oxidação-redução revisitados durante a intervenção. Dada a dificuldade de gestão de tempo, propuséssemos nós uma nova situação na questão sete, na qual se solicitou às alunas que indicassem razões pelas quais os alcoolímetros mudarão de cor na presença de álcool no ar expirado por um condutor; esta mudança de cor já havia sido observada na atividade experimental acabada de realizar em que o crómio sofre redução, alterando-se de cor laranja (característica do dicromato de potássio) para verde (do ião crómio(III)). Um exemplo de resposta a esta questão foi: "Se o condutor ingeriu bebidas alcoólicas, o álcool do ar expirado reage com o crómio existente no

alcoolímetro que se reduz, havendo uma mudança de cor laranja para verde". Parece-nos, da análise desta resposta, que as alunas conseguiram aplicar as aprendizagens em sala de aula a uma situação quotidiana.

Para terminar a segunda e última aula da nossa intervenção, solicitámos às alunas a construção de um mapa conceptual com termos apresentados na questão oito, relativos aos três modelos de interpretação das reações de oxidação-redução. Pretendeu-se levar as alunas a consolidar os conceitos abordados na intervenção, resumir os modelos e os seus contextos de aplicação. A figura 20 mostra o mapa construído pelas alunas. Adotaram as estratégias usadas na aula anterior na construção do mapa conceptual relativo às ligações químicas, pelo que a nossa intervenção foi mais reduzida na construção deste mapa conceptual. Sugerimos, contudo, que poderiam repetir os conceitos *oxidação* e *redução*. As alunas começaram por hierarquizar os conceitos, pelo que, no topo do mapa conceptual, colocaram o mais geral, *reações de oxidação-redução*, seguindo-se os termos relativos aos três modelos que as explicam: *modelo do oxigénio, modelo de transferência de eletrões* e *modelo do número de oxidação*. Seguiu-se os dois tipos de reações, *oxidação* e *redução*, a definição de cada uma delas de acordo com os modelos e um exemplo adequado. Os conceitos foram relacionados com palavras de ligação de forma a constituírem afirmações válidas. Por fim, sugerimos às alunas que colocassem duas ligações cruzadas a partir do exemplo por elas apresentado de reação química explicada pelo modelo do número de oxidação para as reações químicas exemplificadas para aos outros modelos, a fim de dar ênfase à maior abrangência do modelo do número de oxidação.

3.5- Administração do pré e do pós-teste

Os alunos participantes deste estudo foram previamente informados pelos respetivos professores de que iriam realizar um questionário; não sabiam, contudo, qual o tema ou assunto de que tratava. Os pré-testes decorreram no horário normal das turmas, durante os primeiros 45 minutos de aula da disciplina de Análise Química e no espaço que lhes está atribuído no horário letivo- o laboratório de Química. Antes de distribuirmos os pré-testes, explicámos que estes se inseriam numa investigação no âmbito do nosso Mestrado, garantimos a confidencialidade, o anonimato das respostas e apelámos à participação dos alunos. Estes foram informados de que poderiam consultar

Figura 20. Mapa conceptual relativo a conceitos de oxidação-redução

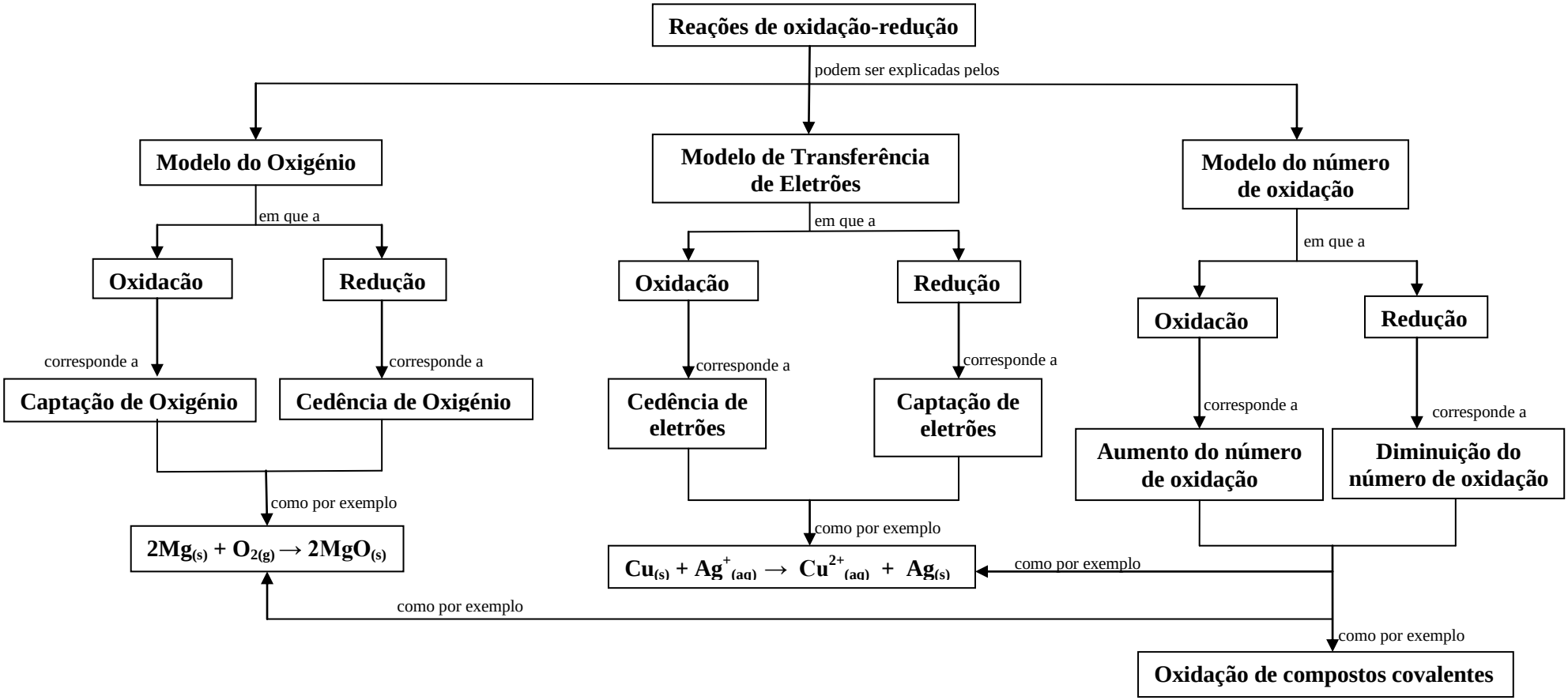


Figura 20. Mapa conceptual relativo a conceitos de oxidação-redução em resposta à questão oito da segunda parte das atividades

a tabela periódica dos elementos e as regras de atribuição dos números de oxidação. Apelámos, ainda, para que não respondessem aleatoriamente às questões de escolha múltipla e quando os alunos entregaram os pré-testes, certificámo-nos de que haviam respondido a todas as questões. Assim, o tempo para a realização do pré e pós-teste foi 30 minutos; nos restantes 15 minutos fornecemos as instruções referidas, distribuímos e recolhemos os testes.O pós-teste foi uma surpresa para os alunos, já que não haviam sido informados da sua realização, por forma, como já referimos, a atenuar o efeito da testagem nos resultados. Os alunos que participaram na pilotagem das versões do pré-teste não realizaram o pós-teste.

3.6- Considerações sobre a análise estatística a efetuar.

Pretendendo-se averiguar se existem diferenças estatisticamente significativas entre as respostas dadas por um mesmo grupo de sujeitos num momento inicial (o pré-teste) e um momento final (o pós-teste), o teste de análise estatística mais adequado é o *t* de student para amostras emparelhadas (Maroco, 2007; Pestana e Gageiro, 2008; Field, 2009; Pallant, 2011). Para dar resposta à questão de investigação "Será que uma estratégia de mudança conceptual, por nós concebida para implementar em sala de aula, com base em pressupostos epistemológicos e psicológicos, nos tópicos da História da Química considerados relevantes e no modelo Conceptual Change Model, conduzirá a uma troca conceptual relativa a conceitos de oxidação-redução?", faz sentido averiguar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre o pré e o pós-teste em termos dos conceitos científicos nas respostas dos alunos.

Para amostras de reduzida dimensão como é o caso da amostra em estudo (n=7), Murteira et al. (2008) referem que a "variância está sujeita a grandes flutuações de amostra para amostra" (p.314) pelo que a distribuição *t* de student representa melhor a variabilidade da amostra do que a distribuição normal. Também Rumsey (2011) recomenda a utilização do teste *t* de student como ferramenta de análise estatística para amostras pequenas:

> Existem dois casos em que devemos utilizar a distribuição *t* de student em vez da distribuição normal. O primeiro caso é quando o tamanho da amostra é pequena (menos de 30); e o segundo caso é quando o desvio padrão da população, σ, é desconhecido e temos de o estimar usando o desvio padrão da amostra, s. (p.229)

Ora a nossa amostra enquadra-se nesta situação pois, além da sua reduzida dimensão, não conhecemos nenhum parâmetro estatístico característico da população. Foi portanto pelo teste *t* de student que recaíu a nossa opção.

As assunções do teste *t* de student incluem a normalidade dos dados recolhidos. Como afirma Pallant (2011), "para técnicas paramétricas, é assumido que as populações a partir das quais são retiradas as amostras, são normalmente distribuídas" (p.206). Uma vez que desconhecemos a distribuição da população e os respetivos parâmetros, também não podemos inferir nada acerca da distribuição da nossa amostra. Pallant (2011) refere, inclusivé, que na maior parte da investigação em ciências sociais os dados recolhidos não têm uma distribuição normal. Contudo, a autora atenua esta situação referindo que "muitas das técnicas são razoavelmente robustas ou tolerantes quanto às violações de tal assunção [a normalidade]"(p.206). Faísca (2010) também corrobora esta posição: "o teste t é robusto face à violação do pressuposto da normalidade da distribuição da variável, mesmo com amostras pequenas. Assim, as consequências da não normalidade dos dados afeta minimamente os erros envolvidos na decisão" (p.13). Também Donnelly (2007) defende que "com amostras pequenas, perdemos a utilidade do teorema do limite central[3] e, por conseguinte, precisamos de assumir que a população é normalmente distribuída para todos os casos [em que se aplica o teste *t* de student]"(p.236). Vamos, portanto, assumir a normalidade dos nossos dados.

Mas a utilização do teste *t* de student recomendado para o nosso caso, trará consequências pois, de acordo com Rumsey (2011), o facto de a amostra ser de reduzida dimensão e não conhecermos os parâmetros da população, traduz-se em "menos informação na qual suportar as nossas conclusões, por isso ao usarmos a distribuição *t* de student teremos de sofrer uma penalização, pois esta distribuição tem maior variabilidade do que a distribuição normal" (p.230). Segundo a autora essa penalização consiste na utilização de um valor do nível de significância *p* superior àquele que seria utilizado se a distribuição fosse normal. Um maior valor de *p* implica uma menor confiança com que retiraremos conclusões. Gall et al. (2007) referem que o nível de significância *p* geralmente utilizado em investigação em Educação é 0,05. Assim, se o valor do *t* de student estimado for superior ao valor tabelado para $p<0,05$, podemos concluir que a diferença entre o pós e o pré-teste é estatisticamente significativa, existindo a possibilidade inferior a 5 em 100 de não o ser. Todavia, atendendo às objeções manifestadas por Rumsey (2011) para amostras de pequena dimensão como é a nossa, e correndo-se o risco de a potência do teste estatístico vir diminuída, para

[3] O teorema do limite central estabelece que, à medida que o tamanho da amostra n se torna cada vez maior, a amostra tende a seguir uma distribuição de probabilidade normal qualquer que seja a distribuição da população de onde foi retirada a amostra.

compensar esta situação, Gall et al. (2007) recomendam que o nível de significância seja ajustado para p< 0,10. Como afirmam os autores:

> Alguns investigadores consideram que é permissível estabelecer *p* ao nível *0,10* em estudos exploratórios a fim de aumentar a potência estatística. Um valor de *p* de *0,10* (…) pode lançar luz sobre uma diferença, relação ou efeito potencialmente importante que poderia ser ignorado se fosse estabelecido um valor de *p* mais baixo. (p.143)

Por conseguinte, usaremos 0,10 para nível de significância.

3.7- Roteiro do programa de intervenção

A tabela sete apresenta um roteiro do programa de intervenção.

Tabela 7.
Roteiro do programa de intervenção

Ação	Alunos envolvidos	Data/ ano 2012
Pilotagem da 1ª Versão do questionário	8 alunos do 1ºT da turma de 12º ano	27 de Abril
Pilotagem da 2ª Versão do questionário	15 alunos: 9 do 2ºT do 12º ano + 6 do 1ºT do 11º ano	9 e 10 de Maio
Pré-teste	7 alunos do 2ºT do 11º ano	17 de Maio
Pilotagem do programa de intervenção	6 alunos do 1ºT do 11º ano	Parte I- 22 de Maio Parte II- 25 de Maio
Programa de intervenção	7 alunos do 2ºT do 11º ano	Parte I- 29 de Maio Parte II- 1 de Junho
Pós-teste	7 alunos do 2ºT do 11º ano	8 de Junho

Nota: T- turno da turma

Estão mencionadas as atividades desenvolvidas bem como os sujeitos participantes do estudo piloto e do estudo principal. O programa de intervenção decorreu, maioritariamente, durante o mês de Maio de 2012.

CAPÍTULO 4
RESULTADOS

Neste capítulo começam-se por apresentar os dados colhidos na administração da primeira e segunda versão do questionário como forma de dar conta do padrão de respostas que se começou a vislumbrar. De seguida, compilam-se os dados colhidos, através da administração do pré-teste e do pós-teste aos sujeitos da amostra. Apresenta-se, depois, a análise estatística que dicidimos efetuar e finalmente, a síntese dos resultados.

4.1- Primeiros ensaios na identificação de concepções alternativas e de conceitos científicos

Decidimos dar conta, nesta secção, dos primeiros ensaios na tentativa de identificar as concepções alternativas pré-estabelecidas.

A tabela 8 resume as respostas obtidas na primeira versão do questionário. Uma vez que cada um dos oito alunos envolvidos na primeira fase da pilotagem deu 11 respostas ao questionário, obtivemos um total de 88 respostas; 57% (50) destas foram incluídas na categoria *conceitos científicos*, 32% (28) na categoria *concepções alternativas* e as restantes 11% (10) na categoria *outras respostas*.

Nas respostas colhidas nesta fase, houve evidências das seguintes nove concepções alternativas: 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução*; 2) *se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução*; 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões* 4) *a reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra*; 5) *as reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto*; 8) *num ião poliatómico, o*

número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga elétrica do ião; 11) *o oxidante sofre oxidação; 12) o redutor sofre redução* e 13) *se um átomo ganhar eletrões, forma um ião positivo, se perder eletrões, forma um ião negativo*.

Tabela 8.

Resultados da pilotagem da primeira versão do questionário

Questões		Conceitos Científicos *f* = 50	Concepções alternativas *f* = 28	Outras respostas *f* = 10
1		2	6	0
2	a	5	3	0
	b	5	3	0
	c	6	2	0
3		2	1	5
4		5	1	2
5	a	7	1	0
	b	5	3	0
	c	5	3	0
6	a	5	1	2
	b	3	4	1

Nota. *n*= 8 alunos.

Na questão um, que inquiria sobre qual o modelo preferido para a explicação da reação de combustão do magnésio, houve evidências das concepções alternativas 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução*; 2) *se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução*; e 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões.*

Na questão dois, que inquiria sobre a simultaneidade entre a reação de oxidação e de redução, foram manifestadas as concepções alternativas 4) *a reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra* e 5) *as reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto.*

Na questão três, em que se perguntava se a reação entre o sódio e o cloro seria uma reação de oxidação-redução, não conseguimos identificar nenhuma das concepções alternativas previstas: 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução*; 2) *se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução*; 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões* e 6) *se numa equação química não estiverem visíveis os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução.* Uma resposta manifestou uma concepção alternativa ao considerar o cloreto de sódio como uma substância molecular.

Na questão quatro, que perguntava qual o número de oxidação do carbono no ião carbonato, foi identificada a concepção alternativa 8) *num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga elétrica do ião*.

Na questão cinco, que inquiria sobre se a reação do ião carbonato em meio ácido seria ou não uma reação de oxidação-redução, foram identificadas as seguintes concepções alternativas: 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução* e 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões.*

Na questão seis a), que perguntava qual seria o oxidante na reação entre o ferro e o ião cobre, foram identificadas as concepções alternativas 11) *o oxidante sofre oxidação* e 12) *o redutor sofre redução.* Na questão seis b), que relativamente à reação química referida se perguntava qual a semirreação de oxidação, foi identificada a concepção alternativa 13) *se um átomo ganhar eletrões, forma um ião positivo, se perder eletrões, forma um ião negativo*.

Não foi possível, na primeira versão, identificar as concepções alternativas 6), 7), 9) e 10). Desejando-se identificar 13 concepções alternativas, reformulou-se o questionário a ser utilizado como pré e pós-teste de modo a cumprir este objetivo.

A tabela 9 resume as respostas obtidas na pilotagem da segunda versão do questionário, a qual envolveu 15 alunos. De um total de 165 respostas obtidas, 53% (87) foram incluídas na categoria *conceitos científicos*, 34% (57) na categoria *concepções alternativas* e as restantes 13% (21) na categoria *outras respostas*.

Nas respostas obtidas, houve evidências das seguintes nove concepções alternativas: 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução*; 2)

se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução; 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões;* 4) *a reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra*; 5) *as reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto*; 9) *o número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga elétrica do ião monoatómico desse elemento* 11) *o oxidante sofre oxidação*; *12) o redutor sofre redução* e 13) *se um átomo ganhar eletrões, forma um ião positivo, se perder eletrões, forma um ião negativo*.

Tabela 9.

Resultados da pilotagem da segunda versão do questionário

Questões		Conceitos científicos *f* = 87	Concepções alternativas *f* = 57	Outras respostas *f* = 21
1		5	10	0
2	a	6	9	0
	b	7	8	0
	c	8	7	0
3		5	6	4
4		9	0	6
5	a	9	6	0
	b	13	2	0
	c	10	5	0
6	a	11	2	2
	b	4	2	9

Nota. N= 15 alunos.

Na questão um, que inquiria sobre qual o modelo preferido para a explicação da reação de combustão do magnésio, houve evidências das concepções alternativas 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução*; 2) *se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução*; e 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões.*

Na questão dois, que inquiria sobre a simultaneidade entre a reação de oxidação e de redução, foram manifestadas as concepções alternativas 4) *a reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra* e 5) *as reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto.*

Na questão três, em que se perguntava se a reação entre o hidrogénio e o cloro seria uma reação de oxidação-redução, foram identificadas as seguintes concepções alternativas: 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões* e 9) *o número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga elétrica do ião monoatómico desse elemento.*

Na questão quatro, que perguntava qual o número de oxidação do carbono no ião carbonato, não foi possível identificar as concepções alternativas previstas: 7) *os números de oxidação podem ser atribuídos a iões poliatómicos; a carga elétrica desse ião poliatómico indica o seu número de oxidação*, 8) *num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga elétrica do ião*. Nesta questão predominaram respostas que incluímos nas categorias *conceitos científicos* e *outras respostas*.

Na questão cinco, que inquiria sobre se a reação do ião carbonato em meio ácido seria ou não uma reação de oxidação-redução, foram identificadas as seguintes concepções alternativas: 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução* e 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões.*

Na questão seis a), que perguntava qual seria o oxidante na reação entre o ferro e o ião cobre, foram identificadas as concepções alternativas 11) *o oxidante sofre oxidação* e *12) o redutor sofre redução.* Na questão seis b) que relativamente à reação química referida se perguntava qual a semirreação de oxidação, foi identificada a concepção alternativa *13) se um átomo ganhar eletrões, forma um ião positivo, se perder eletrões, forma um ião negativo*.

Não foi possível, na segunda versão, identificar as concepções alternativas 6), 7), 8) e 10). Verificámos que, de entre o conjunto de todas as respostas dadas na primeira e segunda versões, conseguimos identificar 10 das 13 concepções alternativas que pretendíamos inicialmente identificar. Em ambas as versões, não conseguimos identificar três dessas concepções: a 6) *se numa equação química não estiverem visíveis*

os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução; a 7) *os números de oxidação podem ser atribuídos a iões poliatómicos, a carga elétrica desse ião poliatómico indica o seu número de oxidação* e a 10) *numa equação, as mudanças nas cargas de entidades químicas poliatómicas pode ser usado para classificar a reação como oxidação-redução*. Durante a concepção do questionário que seria administrado como pré e pós-teste, decidimos incluir 13 concepções alternativas para serem identificadas; fizemo-lo com a consciência de, eventualmente, não virmos a conseguir identificar todas essas 13 concepções devido ao facto de as nossas amostras, quer do estudo piloto, quer do estudo principal, serem de tamanho reduzido e de estarmos limitados no número de pilotagens que poderíamos fazer. Saliente-se que Schmidt et al. (2007), com o objetivo de identificarem quatro concepções alternativas relativas à *eletroquímica*, conceberam um teste constituído por 29 questões, pilotaram-no cinco vezes tendo este estudo envolvido um total de 16000 participantes. O nosso teste tem seis questões, divididas em várias alíneas pelo que cada alunos deu 11 respostas, foi pilotado duas vezes o que envolveu um total de 23 alunos (oito na primeira versão e 15 na segunda); apesar de termos seguido as recomendações daqueles autores para a elaboração de questões destinadas a identificar concepções alternativas, o facto de após duas pilotagens não termos conseguido identificar as três concepções alternativas que referimos parece-nos sugerir a necessidade de acrescentarmos mais questões dirigidas especificamente àquelas concepções, o que implicaria mais pilotagens e com um número de participantes mais elevado. Ora, uma vez que, após a administração da segunda versão, a nossa intervenção teria, forçosamente, de ser com o grupo principal, decidimos não acrescentar mais questões para a identificação das três concepções alternativas em falta. Considerámos, portanto, que tendo as duas versões do questionário conseguido identificar 10 concepções alternativas, tal já seria uma boa base de trabalho, atendendo à principal finalidade do nosso estudo que é dar resposta à questão de investigação formulada. Contudo, tomámos esta decisão com a consciência que aquelas 10 concepções alternativas, identificadas ao longo da fase da pilotagem, poderiam não vir a ser identificadas na totalidade, no pré e pós-teste do grupo principal.

4.2- Análise das respostas ao pré e pós-teste no estudo principal.

A terceira versão do questionário foi administrada como pré e pós-teste às sete alunas do grupo experimental. Vamos analisar as respostas dadas explicitando as razões para as incluirmos numa das três categorias: *conceitos científicos, concepções alternativas* e *outras respostas*. Salientamos que, nas questões de resposta fechada em que não era pedida justificação - questões um, dois e cinco - não houve ausência de respostas pelo que nenhuma foi incluída na categoria *outras respostas*.

Na primeira questão, em que se pretendia averiguar sobre o modelo preferido para a explicação da reação de combustão do magnésio, seis alunas manifestaram, no pré-teste, preferência pela concepção alternativa *modelo de transferência de eletrões* e uma, pela concepção alternativa *modelo do oxigénio*. No pós-teste, o número de respostas incluídas na categoria *concepções alternativas* foi cinco tendo quatro alunas manifestado preferência pela concepção alternativa *modelo de transferência de eletrões* e uma, pela concepção alternativa *modelo do oxigénio*.

Relativamente às afirmações *a* e *c* da questão dois, em que, na reação de combustão do magnésio, se pretendeu identificar a concepção alternativa *as reações de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra*, verificámos que cinco respostas (três na afirmação *a* e duas na *c*) manifestaram esta concepção. No pós-teste, não se observou nenhuma resposta que revelasse esta concepção alternativa. Quanto à afirmação *b* desta mesma questão, pretendíamos identificar a concepção alternativa *as reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente, seguida da redução de um produto*; no pré-teste três respostas manifestaram esta concepção enquanto no pós-teste nenhuma a manifestou.

Na questão três apresentava-se a reação entre o hidrogénio e o cloro, desejando-se identificar quatro concepções alternativas: (1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação; se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução,* (2) *se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução,* (3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões,* e (4) *se numa equação química não estiverem visíveis os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução*. No pré-teste, as cinco respostas que incluímos na categoria *concepções alternativas* resultaram da tentativa de aplicação do modelo de transferência

de eletrões à interpretação da reação entre as moléculas de hidrogénio e de cloro, compostos covalentes; um exemplo destas respostas é: "É uma reação de oxidação-redução porque há perda e ganho de eletrões". Incluímos na categoria *outras respostas* duas, que nos pareceram relacionar a ocorrência de oxidação-redução com o princípio da conservação de massa, o que não está identificado na literatura como tratando-se de uma concepção alternativa. Estas duas respostas foram as seguintes:

- "É uma reação de oxidação-redução porque no lado dos reagentes tem-se uma molécula de H_2 e outra de Cl_2 e no lado dos produtos já temos duas moléculas de HCl".
- "Não é uma reação de oxidação-redução, porque o cloro tinha dois átomos quando estava do lado dos reagentes e, no produto final, manteve o mesmo número de átomos".

No pós-teste, três respostas fundamentaram, de acordo com o modelo aceite cientificamente, o modelo do número de oxidação, a explicação da reação química em questão. As restantes quatro respostas, foram incluídas na categoria *outras respostas* por as considerarmos incompletas, já que não explicavam a reação química com base na variação dos números de oxidação. Por exemplo, foi incluída nesta categoria, a resposta: "É uma reação de oxidação-redução porque há partilha de eletrões". Da análise das respostas a esta questão, quer no pré quer no pós-teste, parece-nos que não há evidências que indiquem a manifestação das concepções alternativas (1), (2) e (4). Contudo, há evidências de ter sido manifestada a concepção alternativa (3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões* por cinco alunas.

Na questão quatro, desejando-se identificar as concepções alternativas: (1) *os números de oxidação podem ser atribuídos a iões poliatómicos; a carga desse ião poliatómico indica o seu número de oxidação* e (2) *num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga do ião*; pediu-se às alunas que calculassem o número de oxidação do fósforo no ião fosfato. Observou-se que, no pré-teste, três alunas deram respostas em que identificámos aquela concepção alternativa e quatro, deram outras respostas. Das três alunas cujas respostas incluímos na categoria *concepções alternativas,* duas haviam indicado que o número de oxidação do fósforo seria *-3* por ser esta a carga elétrica global do ião fosfato, PO_4^{3-}, resposta esta que está referida na literatura como concepção alternativa. Também incluímos nesta categoria a seguinte resposta: "O número de oxidação do fósforo é +9 pois, sabendo que o número de oxidação do oxigénio é -3 e existem quatro átomos do mesmo, 4x(-3)= -12 e, por

fim, +12-3= +9". Esta resposta revela que a aluna considerou que o número de oxidação do oxigénio seria igual à carga elétrica global do ião fosfato, PO_4^{3-}, o que segundo a literatura consultada é uma concepção alternativa. Esta resposta também vem reforçar a nossa suspeita, durante a pilotagem da segunda versão, de que alguns alunos estariam a considerar o número de oxidação do oxigénio como sendo *-2* por ser essa a carga elétrica global do ião carbonato, CO_3^{2-}. Esta foi a razão pela qual, na versão final do pré e pós-teste, substituímos o ião carbonato, CO_3^{2-}, pelo ião fosfato, PO_4^{3-}, em que o número de oxidação do oxigénio é diferente da carga elétrica do ião. Esta alteração permitiu-nos identificar, com maior confiança, a manifestação da referida concepção alternativa no estudo principal.

Incluímos, ainda no pré-teste, quatro respostas na categoria *outras respostas* por as alunas referirem que o número de oxidação do fósforo é *-12*, resultante da multiplicação da carga elétrica global do ião fosfato pelo número de átomos de oxigénio; é uma resposta que não está identificada como concepção alternativa na literatura, mas que se havia revelado na segunda versão do pré e pós-teste. Por outro lado, no pós-teste, seis alunas responderam fazendo uso dos conceitos científicos e apenas uma, manifestou outra resposta. As seis alunas que responderam de acordo com os conceitos cientificamente aceites justificaram as respostas com a apresentação e resolução da equação do primeiro grau, x + 4×(-2) = -3, em que x representa o número de oxidação do fósforo. Incluímos na categoria *outras respostas* uma, em que a aluna indicou que o número de oxidação do fósforo seria *4*, por ser este o número de átomos de oxigénio existentes no ião; é uma resposta que não está identificada na literatura como tratando-se de uma concepção alternativa, mas que já na segunda versão se havia manifestado. Parece, portanto, haver evidência de termos identificado a concepção alternativa *num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga do ião*. Todavia, da análise das respostas das alunas, nenhuma nos pareceu manifestar a concepção alternativa *os números de oxidação podem ser atribuídos a iões poliatómicos; a carga desse ião poliatómico indica o seu número de oxidação.*

Na questão cinco, dada a reação do ião carbonato em meio ácido, pretendeu-se identificar as seguintes concepções alternativas: (1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação; se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução,* (2) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões*, (3) *numa equação, as mudanças nas cargas elétricas de*

entidades químicas poliatómicas podem ser usadas para classificar a reação como oxidação-redução e (4) *se numa equação química não estiverem visíveis os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução*. No pré-teste, num total de 21 respostas a esta questão, 12 foram incluídas na categoria *concepções alternativas.* No pós-teste, esse número diminuiu para três. As respostas incluídas na categoria *conceitos científicos* aumentaram de nove, no pré-teste, para 18 no pós-teste. Não estamos seguros de que as respostas das alunas possam ter manifestado as concepções alternativas que identificámos em (3) e (4), pois essa manifestação dependeria da forma como as alunas pensaram para responderem à alínea c) desta questão; tratando-se de uma questão de escolha múltipla não é possível aceder à forma de pensamento das alunas, todavia, pensamos haver evidências de as concepções alternativas (1) e (2) terem sido manifestadas.

Na questão seis, alínea a), era apresentada a reação entre o ferro e o ião cobre, desejando-se identificar as concepções alternativas (1) o *oxidante sofre oxidação* e (2) o *redutor sofre redução*. No pré-teste, quatro respostas foram incluídas na categoria *conceitos científicos*: "o ião cobre é oxidante porque sofre redução". Algumas justificações incluíram a aplicação fundamentada do modelo de transferência de eletrões para concluírem que o ião cobre sofreria redução logo, seria oxidante. Uma resposta manifestou a concepção alternativa "*o ferro é oxidante porque sofre oxidação"* e a aluna justificou: "O ferro é oxidante porque sofre oxidação, passa de Fe para Fe^{2+}". Incluímos na categoria *outras respostas* duas que resultaram de uma aplicação não fundamentada do modelo de transferência de eletrões, em que a opção pela segunda afirmação, "o ferro é oxidante porque sofre redução", foi justificada com a redução do ferro por cedência de eletrões. Já no pós-teste, três respostas foram incluídas na categoria *conceitos científicos*; quatro, na categoria *outras respostas* e não se incluiu nenhuma na categoria *concepções alternativas*.

Na questão seis, alínea b), em que perante a reação química entre o ferro e o ião cobre se pedia às alunas que assinalassem e justificassem a opção de resposta correspondente à semirreação de oxidação, desejava-se identificar as concepções alternativas (1) *o número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga do ião monoatómico desse elemento (quando deveria ser zero)* e (2) *se um átomo ganhar eletrões, forma um ião positivo, se perder eletrões forma um ião negativo*. No pré-teste, obtivemos uma resposta que incluímos na categoria *conceitos científicos* cuja justificação se baseou, fundamentadamente, no modelo de transferência de eletrões. As

restantes respostas, foram incluídas na categoria *outras respostas*; como exemplo, aquelas em que as alunas optaram pela primeira reação apresentada, $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(s)}$, justificando que o ião cobre "ganha" dois eletrões passando a cobre ou "o ião cobre passou de ião a átomo", o que não identifica, à luz do modelo de transferência de eletrões, a semirreação de oxidação na reação global, $Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftarrows Fe^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$. Assim, constatámos que, no pré-teste, nenhuma resposta evidenciou concepções alternativas. Já no pós-teste, obtivemos cinco respostas aceites cientificamente, com justificações baseadas no modelo de transferência de eletrões; as restantes duas foram incluídas na categoria *outras respostas* devido à ausência de resposta, pelo que não constatámos a existência de concepções alternativas nas respostas a esta questão.

4.3- Análise preliminar das concepções alternativas.

A tabela 10 resume as respostas obtidas das sete alunas da amostra e que foram descritas na secção anterior. A partir da análise desta tabela, verificamos que, entre o pré-teste e o pós-teste, as frequências observadas nas respostas aumentaram em termos dos conceitos científicos e diminuíram em termos das concepções alternativas e das outras respostas.

O gráfico que se apresenta na figura 21 sintetiza estes dados. Este gráfico sugere que ocorreu uma mudança conceptual, no entanto, tornou-se necessário proceder a uma análise mais fina dos dados a fim de observarmos quais as concepções alternativas em que ocorreu mudança conceptual e em que sujeitos da amostra.

Tabela 10.

Resultados do pré-teste e pós-teste

Questões			Conceitos científicos *f* (pré-teste)= 27 *f* (pós-teste)= 58	Concepções alternativas *f* (pré-teste)=36 *f* (pós-teste)= 8	Outras respostas *f* (pré-teste)= 14 *f* (pós-teste)= 11
1		Pré teste	0	7	0
		Pós teste	2	5	0
2	a	Pré teste	4	3	0
		Pós teste	7	0	0
	b	Pré teste	4	3	0
		Pós teste	7	0	0
	c	Pré teste	5	2	0
		Pós teste	7	0	0
3		Pré teste	0	5	2
		Pós teste	3	0	4
4		Pré teste	0	3	4
		Pós teste	6	0	1
5	a	Pré teste	2	5	0
		Pós teste	6	1	0
	b	Pré teste	5	2	0
		Pós teste	6	1	0
	c	Pré teste	2	5	0
		Pós teste	6	1	0
6	a	Pré teste	4	1	2
		Pós teste	3	0	4
	b	Pré teste	1	0	6
		Pós teste	5	0	2

Nota. N= 7 alunas

Figura 21. Percentagens observadas nas respostas ao pré-teste e ao pós-teste.

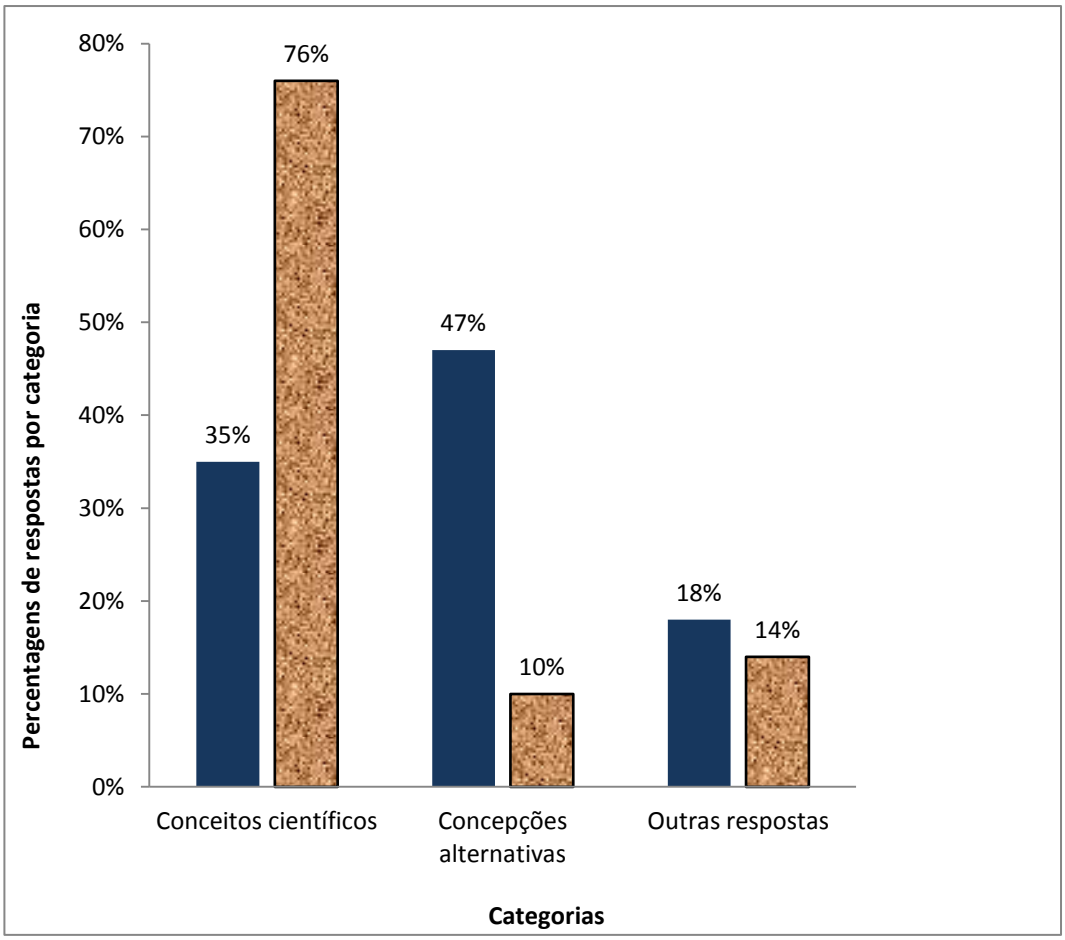


Figura 21. Percentagens de respostas classificadas por categorias, conceitos científicos, concepções alternativas e outras respostas, no pré-teste e no pós-teste .

4.4- Mudança conceptual: das concepções alternativas aos conceitos científicos

Propusemo-nos, inicialmente, identificar uma totalidade de 13 concepções alternativas. Durante a pilotagem, identificámos 10 delas. No pré-teste, houve evidências que apontam no sentido de termos conseguido identificar oito:

1) Em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação; se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução.
2) Se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução.
3) Em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões.
4) A reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra.
5) As reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto.
8) Num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga elétrica do ião.
11) O oxidante sofre oxidação.
12) O redutor sofre redução.

Considerámos que não foi possível identificar as seguintes cinco concepções alternativas:

6) Se numa equação química não estiverem visíveis os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução.
7) Os números de oxidação podem ser atribuídos a iões poliatómicos. A carga elétrica desse ião poliatómico indica o seu número de oxidação.
9) O número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga elétrica do ião monoatómico desse elemento (quando deveria ser zero).
10) Numa equação, as mudanças nas cargas de entidades químicas poliatómicas pode ser usado para classificar a reação como oxidação-redução
13) Se um átomo ganhar eletrões forma iões positivos, se perder eletrões forma iões negativos.

Foram, ainda, identificadas duas respostas que se revelaram persistentes ao longo da nossa intervenção, mas que incluímos na categoria *outras respostas* por não estarem identificadas na literatura como concepções alternativas:

- O número de oxidação de um elemento num ião poliatómico calcula-se multiplicando o número de átomos de oxigénio pela carga elétrica desse ião. Este procedimento utilizado pelos alunos para o cálculo de números de oxidação foi identificado na segunda versão e no pré-teste;
- O número de oxidação de um elemento num ião poliatómico é igual ao número de átomos de oxigénio presentes nesse ião. Esta forma de cálculo de números de oxidação foi identificada na segunda versão e no pós-teste.

Após estas identificações, procedemos a uma análise fina das respostas e efetuámos um cruzamento, por aluna, entre as respostas dadas no pré e no pós-teste. Este procedimento tornou-se necessário, uma vez que se desejava averiguar quais das sete alunas da amostra passaram por um processo de mudança conceptual e em relação a que concepções alternativas sofreram essa mudança conceptual. O resultado dessa análise consta na tabela 11.

Na primeira questão, em que se pretendia averiguar sobre o modelo preferido para a explicação da reação de combustão do magnésio, foram identificadas as concepções alternativas 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução*; 2) *se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução* e 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões*. De entre as alunas da amostra, duas manifestaram mudança conceptual relativamente à concepção alternativa 3). Quatro alunas que no pré-teste manifestaram preferência pelo modelo de transferência de eletrões, mantiveram essa preferência no pós-teste e, na aluna que manifestou as concepções alternativas 1) e 2) não ocorreu mudança conceptual.

Relativamente às afirmações *a* e *c* da questão dois, em que, na reação de combustão do magnésio, se pretendeu identificar a concepção alternativa 4) *a reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra*, verificámos que em três alunas ocorreu mudança conceptual relativamente a esta concepção alternativa.

Tabela 11.
Mudança conceptual por questão

Questões do pré e pós-teste		Alunas						
		A	B	C	D	E	F	G
1		CA→CC	CA→CA	CA→CA	CA→CA	CA→CC	CA→CA	CA→CA
2	a	CA→CC	CA→CC	CC→CC	CA→CC	CC→CC	CC→CC	CC→CC
	b	CC→CC	CA→CC	CC→CC	CA→CC	CA→CC	CC→CC	CC→CC
	c	CC→CC	CA→CC	CC→CC	CA→CC	CC→CC	CC→CC	CC→CC
3		*outras respostas*→CC	*outras respostas outras*→ *respostas*	CA→CC	CA →*outras respostas*	CA→CC	CA →*outras respostas*	CA →*outras respostas*
4		CA→CC	CA→*outras respostas*	*outras respostas* →CC	*outras respostas* →CC	CA→CC	*outras respostas* →CC	*outras respostas* →CC
5	a	CA→CC	CC→CC	CA→CC	CA→CC	CC→CC	CA→CA	CA→CC
	b	CA→CC	CA→CC	CC→CC	CC→CC	CC→CC	CC→CC	CA→CC
	c	CA→CC	CC→CC	CA→CC	CA→CC	CC→CC	CA→CA	CA→CC
6	a	CA→CC	*outras respostas*→CC	*outras respostas* →CC	CC→CC	CC →*outras respostas*	*outras respostas* →*outras respostas*	*outras respostas* →CC
	b	CC→CC	*outras respostas* →*outras respostas*	*outras respostas* →CC	*outras respostas* →CC	*outras respostas* →CC	*outras respostas* →*outras respostas*	*outras respostas*→ CC

Nota. CA → CC; uma resposta que no pré-teste foi incluída na categoria *concepções alternativas* foi, no pós-teste, incluída na categoria *conceitos científicos*. CA → *outras respostas*; uma resposta que no pré-teste foi incluída na categoria *concepções alternativas* foi, no pós-teste, incluída na categoria *outras respostas*. *Outras respostas* → CC; uma resposta que no pré-teste foi incluída na categoria outras respostas, foi no pós-teste, incluída na categoria conceitos científicos. *Outras respostas → outras respostas*; uma respostas foi incluída na categoria outras respostas no pré e no pós-teste. CC → *Outras respostas*; uma resposta que no pré-teste foi incluída na categoria *conceitos científicos* foi, no pós-teste, incluída na categoria *outras respostas*. CA → CA; uma resposta foi incluída na categoria concepções alternativas no pré e no pós-teste. Não encontrámos evidências das alterações CC → CA e *outras respostas* → CA.

Quanto à afirmação *b* desta mesma questão, pretendíamos identificar a concepção alternativa 5) *as reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente, seguida da redução de um produto*; verificámos que também em três alunas ocorreu mudança conceptual relativamente a esta concepção alternativa.

Na questão três apresentava-se a reação entre o hidrogénio e o cloro e, da análise das respostas, identificámos a concepção alternativa 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões*. Verificámos que em duas alunas ocorreu mudança conceptual.

Na questão quatro, pediu-se às alunas para calcularem o número de oxidação do fósforo no ião fosfato e foi identificada a concepção alternativa 8) *num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga do ião*. Observou-se que quatro alunas manifestaram tal concepção e em três ocorreu mudança conceptual. A outra aluna deu, no pós-teste, uma resposta que foi incluída na categoria *outras respostas*.

Na questão cinco era dada a reação do ião carbonato em meio ácido e, na alínea a) foi identificada a concepção alternativa 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução*; verificámos que em quatro alunas ocorreu mudança conceptual relativamente a esta concepção alternativa e em duas alunas não ocorreu mudança conceptual, ou seja, mantiveram a concepção alternativa no pós-teste. Na alínea b) desta questão, em que foi identificada a concepção alternativa 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões*, ocorreu mudança conceptual em rês alunas relativamente a esta concepção alternativa.

Na questão seis, alínea a), era apresentada a reação entre o ferro e o ião cobre, foram identificadas as concepções alternativas o 11) *oxidante sofre oxidação* e o 12) *redutor sofre redução*. Verificámos que uma aluna sofreu mudança conceptual relativamente a estas duas concepções alternativas. Na questão seis, alínea b), em que perante a reação química entre o ferro e o ião cobre se pedia às alunas que assinalassem e justificassem a opção de resposta correspondente à semirreação de oxidação, não foi identificada nenhuma concepção alternativa nas respostas das alunas. Por conseguinte nada podemos inferir quanto a possíveis mudanças conceptuais que tenham ocorrido com esta questão.

Na tabela 12 as mudanças conceptuais ocorridas em cada em cada uma das sete alunas da amostra são resumidas. Focando-nos nas alterações sofridas das concepções alternativas para conceitos científicos, podemos observar que:

Tabela 12

Mudança conceptual por aluna

Alunas	Nº de respostas que manifestaram CA's no pré-teste	Alterações dos conceitos CA→CC
A	7	7
B	6	4
C	4	3
D	7	5
E	4	4
F	4	0
G	5	3

Ocorreu mudança conceptual em metade ou mais das concepções alternativas para seis, das sete alunas que participaram neste estudo. Vejam-se as alunas A e E, em que a totalidade das concepções alternativas que haviam sido identificadas no pré-teste, passaram a conceitos científicos no pós-teste. Estas alunas sofreram mudança conceptual, entre o início e o final da intervenção, relativamente a todas as concepções alternativas que manifestaram. Na aluna F, não ocorreu mudança conceptual, pois nenhuma das suas respostas no pré-teste, incluídas na categoria *concepções alternativas*, passou a estar incluída, no pós-teste, na categoria *conceitos científicos*. E sobre que concepções alternativas ocorreu a mudança conceptual? Para responder a esta questão, elaborámos a tabela 13.

Tabela 13

Mudança conceptual por concepção alternativa identificada no pré-teste

CA nº	CA identificada no pré-teste	Nº de alunas que no pré-teste evidenciou a CA	Nº de alunas em que ocorreu mudança conceptual
1	Em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução	6	4
2	Se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução.	1	0
3	Em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões	7	3
4	A reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra.	3	3
5	As reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto.	3	3
8	Num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga elétrica do ião.	3	2
11	O oxidante sofre oxidação	1	1
12	O redutor sofre redução	1	1

Da análise da tabela parece-nos haver evidências de ter ocorrido mudança conceptual relativamente a sete das concepções alternativas identificadas: as concepções alternativas um, quatro, cinco, oito, 11 e 12, foram as que sofreram mudança conceptual por parte de metade ou mais das alunas. A concepção alternativa três sofreu mudança conceptual por menos de metade das alunas. Não ocorreu mudança conceptual relativamente à concepção alternativa dois.

4.5- Mudança conceptual entre a situação inicial e o final da intervenção.

Uma vez que de entre oito concepções alternativas identificadas no pré-teste, sete foram trocadas por conceitos científicos após a intervenção por um maior número de alunas da amostra, então poderemos considerar que tenha ocorrido mudança conceptual. Assim, fará sentido averiguar se as diferenças observadas entre o pré e pós-teste têm significado estatístico recorrendo-se ao teste *t* de student para amostras emparelhadas como ferramenta estatística de análise.

Para utilizarmos o teste *t* de student, há que definir as variáveis em estudo que são duas: uma dependente, contínua (as cotações no pré e no pós-teste) e a outra, independente, categórica, com dois níveis – o primeiro momento (pré-teste) e o segundo momento (o pós-teste). O que se pretende averiguar é se as diferenças entre as cotações do pré e pós-teste são estatisticamente significativas.

Para a variável dependente, atribuímos um ponto às respostas que foram incluídas na categoria *conceitos científicos*, e zero pontos às respostas que foram incluídas nas categorias *concepções alternativas* ou *outras respostas*, não aceites cientificamente. A tabela 14 apresenta as cotações atribuídas às respostas dadas por cada aluna ao pré-teste e ao pós-teste, bem como as diferenças entre essas cotações.

Tabela 14

Cotações do pré e pós-teste

Alunas	X_i Pré-teste	Y_i Pós-teste	d_i $d_i=\|Y_i-X_i\|$
A	3	11	8
B	2	7	5
C	4	10	6
D	2	9	7
E	6	10	4
F	4	5	1
G	3	9	6

Apliquemos então o teste t-student para amostras emparelhadas aos nossos dados. A estatística a utilizar é (Maroco, 2007, p.271; Pestana e Gageiro, 2008, p.249):

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}} \sim t_{(n-1)}$$

Em que:

- $\bar{d}$ é a média das diferenças entre as cotações do pós e pré-teste que é calculado por $\overline{d} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i$,
- s_d é o desvio padrão de d calculado por $s_d = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(d_i - \overline{d}\right)^2}$,
- $t_{(n-1)}$ é a distribuição *t*-student com n-1 graus de liberdade,
- n é o numero de sujeitos da amostra,
- μ_d é a média das diferenças entre as cotações do pré e do pós-teste que teriam sido administrados à população. É um valor desconhecido mas, se as diferenças não fossem estatisticamente significativas o valor dessa média seria nulo.

  Os cálculos conduzem a $\overline{d} = 5{,}29$ e $s_d = 2{,}289$.

  Então, se admitirmos que $\mu_d = 0$, a estatística *t* será: $t = \frac{5{,}29-0}{\frac{2{,}289}{\sqrt{7}}} = 6{,}11$

Este valor vai ser comparado com o valor tabelado da distribuição *t*-student com seis graus de liberdade. Como refere Field (2009):

> "Podemos comparar o valor de *t* obtido com o valor máximo que esperaríamos obter devido ao acaso numa distribuição t com os mesmos graus de liberdade; se o valor que obtivemos exceder este valor crítico podemos estar confiantes de que o valor obtido reflete um efeito na nossa variável independente". (p.329)

O valor crítico tabelado da distribuição *t*-student para p<0,1 e seis graus de liberdade é 1,94. Uma vez que o valor por nós obtido, 6,11, é superior ao valor crítico, então as diferenças entre as cotações entre o pós e o pré-teste têm significado estatístico para p<0,1.

Este resultado aponta para o sucesso na nossa promoção da mudança conceptual já que indicia uma melhoria nas cotações do pré para o pós-teste. Mas quão grande foi esta melhoria? Como afirma Conboy (2003a), um sujeito participante num

estudo, após a intervenção, "pode ficar melhor sem ficar bom" (p.150). Imaginemos, por um instante, que estamos doentes, num estado febril, com uma temperatura corporal de 40ºC. Num determinado momento, após o início de um qualquer tratamento médico, a nossa temperatura desceu para 39ºC. Efetivamente melhorámos, mas será que já estamos bem de saúde? Obviamente que não, porque conhecemos o valor de referência para a temperatura interna do nosso corpo, 37ºC. Ora no nosso estudo, não dispomos de nenhuma referência para comparação que nos permita afirmar que a melhoria observada nas cotações do pré para o pós-teste é 'boa' ou 'fraca'. Temos, então, de recorrer a uma medida estatística que nos permita inferir acerca da intensidade do efeito observado – a melhoria nas cotações entre o pré e o pós-teste. Essa medida estatística é a *magnitude do efeito* traduzida por parâmetros tais como o *d* de Cohen. O *d* de Cohen pretende responder à questão "Qual a intensidade do efeito?". Como também refere Faísca (2010):

> Uma diferença pode ser significativa mas ter uma magnitude diminuta (pode acontecer quando trabalhamos com amostras grandes) ou, pelo contrário, a diferença pode não ser significativa mas ter uma magnitude grande (pode acontecer quando se trabalha com amostras pequenas). Esta questão torna-se particularmente relevante quando se trata de avaliar efeitos de intervenções (clínicas ou educacionais). (p.40)

O *d* de Cohen é calculado por $d = \frac{M_E - M_C}{\sigma}$ (Cohen, 1988, p.20), em que M_E é a média do grupo experimental, M_C é a média do grupo de controlo e σ o desvio padrão da população de onde foram retirados os grupos experimental e de controlo. Cohen (1988) explica que a magnitude do efeito *d* é uma medida em unidades de desvio padrão e exemplifica: se M_E-M_C=10 e σ=5, então d=10/5=2 o que significa que as médias do grupo experimental e do grupo de controlo diferem de dois desvios padrão. Quanto maior for o valor de *d*, maior é a magnitude do efeito.

No nosso estudo, em que não dispomos de um grupo de controlo, a magnitude do efeito *d* pode ser calculado por (Conboy, 2003a, p.149):

$$d = \frac{M_{pós} - M_{pré}}{\sqrt{\frac{s_{pré}^2 + s_{pós}^2}{2}}}$$

Em que $M_{pós}$ e $M_{pré}$ são as médias das cotações do pós e do pré-teste, respetivamente, $s^2_{pré}$ e $s^2_{pós}$ são as variâncias dos pré e pós-testes, respetivamente. O cálculo da magnitude do efeito *d*, fica, então:

$$d = \frac{8{,}714 - 3{,}429}{\sqrt{\frac{1{,}397^2 + 2{,}059^2}{2}}} \cong 3$$

Conboy (2003b) refere que, para amostras de pequena dimensão como é a nossa, o valor de *d* vem sobrestimado. A fim de corrigir esta situação, multiplica-se o valor de d por um coeficiente designado por K (a correção de Hedges). No caso do presente estudo, o valor de K é 0,84 (Conboy, 2003b). Então, o valor da magnitude do efeito corrigido é:

$$d = 3 \times K \cong 2{,}5$$

Assim, de acordo com a classificação sugerida por Cohen (1988), a magnitude do efeito é considerada "grande", pois d= 2,5 > 0,8 (Cohen, 1988, p.25).

Conboy (2003a, p.148) acrescenta, ainda, outra leitura do significado de *d*: "a magnitude do efeito, tipo *d*, é a quantificação padronizada do aumento, incremento, melhoria ou benefício que observamos, devido à intervenção estudada". O teste t-student não permite imputar ao programa de intervenção as diferenças estatisticamente significativas observadas entre as cotações do pré e pós-teste. Contudo, para o nosso estudo, atendendo a que estimámos uma magnitude de efeito *d* considerada "grande", é de admitir que as cotações do pré e pós-teste de um grupo de alunos submetidos ao nosso programa de intervenção, excedam em cerca de 99% (Cohen, 1988, p.23) o valor médio das cotações do mesmo pré e pós-teste eventualmente administrado a um grupo de alunos que não tenha sido submetido a um programa de intervenção idêntico ao implementado no presente estudo. Assim, pensamos poder inferir que, num grupo de alunos submetidos a um programa de intervenção idêntico ao implementado, haveria mais alunos a sofrerem mudança conceptual do que num outro grupo de sujeitos, em que este programa não tivesse sido implementado.

4.6- Sintese final dos resultados.

Das 13 concepções alternativas que nos propusemos identificar ao concebermos o instrumento que serviu de pré e pós-teste, identificámos oito. De entre as oito concepções alternativas identificadas, ocorreu mudança conceptual relativamente às seguintes sete:

1. *Em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução.* A mudança conceptual relativamente a esta concepção foi observada em quatro alunas. Esta concepção alternativa alterou-se para o conceito científico que inclui a consideração de que as reações de oxidação-redução também ocorrem sem a presença de oxigénio.
3. *Em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões.* A mudança conceptual relativamente a esta concepção foi observada em três alunas Esta concepção alternativa alterou-se para o conceito científico que inclui a oxidação e redução de compostos covalente em que não ocorre transferência de eletrões.
4. *A reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra* e *as reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto*. A mudança conceptual relativamente a esta concepção foi observada em três alunas. Esta concepção alternativa alterarou-se para o conceito científico que considera que a reação de oxidação e a de redução ocorrem em simultâneo.
5. *As reações de oxidação-redução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto.* A mudança conceptual relativamente a esta concepção também foi observada em três alunas. Esta concepção alternativa alterarou-se para o conceito científico que considera que a reação de oxidação e a de redução ocorrem em simultâneo.
8. *Num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga elétrica do ião.* A mudança conceptual relativamente a esta concepção foi observada em duas alunas. Esta concepção alternativa alterou-se para o conceito científico que incluem a correta utilização das regras estabelecidas por Pauling para o cálculo de números de oxidação.

11. *O oxidante sofre oxidação.* A mudança conceptual relativamente a esta concepção foi observada numa aluna. Esta concepção alternativa alterarou-se para o conceito científico, o oxidante sofre redução.
12. *O redutor sofre redução.* A mudança conceptual relativamente a esta concepção foi observada numa aluna. Esta concepção alternativa alterarou-se para o conceito científico, o redutor sofre oxidação.

Não foi observada mudança conceptual relativamente à concepção alternativa 2) *se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução.* Não houve evidências que nos permitissem identificar, no estudo principal, as seguintes cinco concepções alternativas: 6) *se numa equação química não estiverem visíveis os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução*; 7) *os números de oxidação podem ser atribuídos a iões poliatómicos, a carga elétrica desse ião poliatómico indica o seu número de oxidação;* 9) *o número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga elétrica do ião monoatómico desse elemento (quando deveria ser zero);* 10) *numa equação, as mudanças nas cargas elétricas de entidades químicas poliatómicas pode ser usado para classificar a reação como oxidação-redução* e 13) *se um átomo ganhar eletrões, forma um ião positivo, se perder eletrões, forma um ião negativo*.Todavia, as concepções alternativas 9) e 13) foram identificadas durante a pilotagem do pré e pós-teste.

Foram, ainda, identificadas respostas que se revelaram persistentes ao longo da intervenção mas que, não sendo cientificamente aceites, também não estão referidas na literatura consultada como tratando-se de concepções alternativas. Essas respostas pressupõem os conceitos seguintes pelos alunos:

- *num ião poliatómico com átomos de oxigénio, o número de oxidação de um dos elementos corresponde ao número de átomos de oxigénio desse ião*;
- *num ião poliatómico com átomos de oxigénio, o número de oxidação de um dos elementos calcula-se multiplicando o número de átomos de oxigénio pela carga do ião*.

Foi aplicado o teste *t* de student com amostras emparelhadas para avaliar o impacto do programa de intervenção implementado no presente estudo. Os resultados indicam que as diferenças observadas entre os conceitos científicos manifestados pelos sujeitos da amostra traduzidos pelas cotações obtidas no pré-teste ($\overline{X} = 3{,}429$, s=1,397) e no pós-teste ($\overline{X} = 8{,}714$, s=2,059), têm significado estatístico, $t(6)= 6{,}11$, $p<0{,}1$, $d=2{,}5$.

CAPÍTULO 5
CONCLUSÕES

Neste capítulo, discutimos os resultados do nosso estudo para depois considerarmos as limitações com que nos deparámos. Fazemos, por fim, propostas de futuras investigações como forma de aprofundar algumas questões que emergiram da nossa dissertação e também tecemos algumas considerações finais.

5.1- Mudança conceptual relativa a reações de oxidação-redução.

Relativamente à concepção alternativa 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação, se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução,* mais de metade das alunas que haviam manifestado tal concepção alternativa antes da intervenção, já incluíam conceitos científicos no pós-teste. Parece, portanto, ter ocorrido uma mudança conceptual nesta concepção alternativa por parte de um maior número de alunas da amostra.

A concepção alternativa 2) *se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução* apenas foi identificada numa aluna que a manifestou, quer no pré quer no pós-teste. Por conseguinte, não ocorreu nesta aluna, mudança conceptual relativamente a esta concepção alternativa. Seriam necessários dados de outra natureza, resultantes por exemplo, de entrevistas, para podermos enunciar uma conclusão mais robusta quanto a esta mudança conceptual.

A concepção alternativa 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões*, mostrou-se ser a maioritária no pré-teste, já que todas as alunas da amostra a manifestaram. Este resultado é consentâneo com o estudo empírico de Ringnes (1995), que também constatou ser o modelo de *transferência de eletrões* o preferido pelos alunos noruegueses. Em relação à reação química de combustão do magnésio, apesar de qualquer um dos três modelos poder ser utilizado para a interpretar,

a literatura refere que o modelo do *número de oxidação* deve ser encorajado (Schug, 1975), pelo que seria por este que esperávamos ver manifestada a preferência das alunas após a implementação do programa de intervenção. Tal não veio a ocorrer. Parece pois, poder afirmar-se que o programa de intervenção não veio alterar a preferência maioritariamente manifestada pelas alunas pelo modelo de *transferência de eletrões* numa situação em que, livremente, poderiam ter optado por qualquer um dos três modelos. É algo que vai de encontro à boa recetividade dos alunos relativamente àquele modelo referida por Gregg (1945), "o reconhecimento da oxidação como perda de eletrões e de redução como ganho de eletrões é tão básico, e tão rapidamente entendido, que os estudantes médios têm pouca dificuldade em compreenderem" (p. 548). Consideramos que esta facilidade de compreensão por parte dos alunos se poderá dever ao fato de estar sustentada na transferência de uma entidade física real, ainda que não visível a olho nu: o eletrão. A transferência de eletrões torna-se, assim, a *driving force*, o motor do processo de oxidação-redução. Já no modelo do número de oxidação não existe, propriamente, uma *driving force*, pois o modelo assenta num conceito abstrato, num formalismo matemático que exige a aplicação de uma série de regras que implicam cálculo, o que constitui um obstáculo difícil de ultrapassar porque, como afirma Leite (1993), "as ideias dos alunos, ao contrário do que acontece com as dos cientistas, não têm uma componente matemática" (p.8). Pensamos, também, que a interpretação das reações de oxidação-redução como transferência de eletrões se pode incluir, maioritariamente, no nível *Sub-micro* do triângulo de Johnstone; enquanto que a interpretação com base no conceito abstrato *número de oxidação*, se pode incluir no nível *Representacional*. Fazer a transição do nível Sub-micro para o Representacional, ou seja, promover a mudança conceptual do modelo de *transferência de eletrões* para o modelo do *número de oxidação*, afigurou-se, portanto, uma tarefa de difícil consecução em sala de aula, tal como foi difícil e morosa, ao longo da História da Química, a mudança entre os paradigmas do modelo de *transferência de eletrões* e do modelo do *número de oxidação*. Por conseguinte, não é de estranhar que menos de metade das alunas, que no pré-teste haviam manifestado a concepção alternativa *todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões,* no pós-teste terem mantido esta concepção. Esta concepção alternativa revelou-se, portanto, a mais resistente à mudança.

No que respeita às duas concepções alternativas 4) *a reação de oxidação e de redução podem ocorrer independentemente uma da outra* e 5) *as reações de oxidação-*

redução incluem a oxidação de um reagente, seguido da redução de um produto, verificámos que as três as alunas que no pré-teste manifestaram estas concepções, no pós-teste deram respostas que evidenciaram conceitos científicos. Parece, portanto, que a mudança conceptual relativa àquelas duas concepções alternativas foi bem-sucedida para estas três alunas.

Relativamente à concepção alternativa 8) *num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga do ião*, mais de metade das alunas que a haviam manifestado, já incluíam conceitos científicos no pós-teste. Parece, portanto, ter ocorrido uma mudança conceptual para estas alunas da amostra. Podemos, assim, ser levados a prever que a utilização da analogia da balança foi bem-sucedida na promoção da mudança conceptual de concepções alternativas relacionadas com o cálculo de números de oxidação. Tal vai de encontro a estudos empíricos em que os investigadores utilizaram analogias para a promoção da mudança conceptual, de que é exemplo o de Treagust, Harrison e Venville (1996) no qual os autores utilizam, com uma turma (n= 25), analogias para promoverem a mudança conceptual sobre a refração da luz; ao comparar com o grupo de controlo (n=14), concluíram por um sucesso na mudança conceptual que pretendiam promover. Também no estudo de Çalik, Ayas e Ebenezer (2009), no qual os autores pretendiam promover a mudança conceptual relativamente à velocidade de dissolução, utilizaram uma estratégia com recurso a analogias integrada num modelo semelhante ao 5 És; foi uma estratégia globalmente bem-sucedida, embora os autores tenham verificado a evolução de algumas concepções alternativas para outras diferentes das identificadas no pré-teste. De facto, as analogias podem ser promotoras da mudança conceptual; contudo, também podem levar à construção ou reforço de concepções alternativas (Champagne, Gunstone e Klopfer, 1985), pois há sempre o risco de o aluno fazer transferências incorretas do conhecimento *âncora* (já assimilado) para o *novo* conhecimento. Dagher (1994) refere que "a revisão de estudos e as evidências a partir de outras fontes apontam para uma modesta contribuição das analogias para a mudança conceptual" (p.601). Mais recentemente, Lagarto (2011) observou durante um mês, as aulas de duas turmas do sexto ano do ensino básico na disciplina de Ciências da Natureza. A autora pretendia caracterizar as práticas docentes dos professores das turmas e monitorizar a evolução dos conceitos dos alunos relativamente ao tema *sistema circulatório humano*. Os professores participantes no estudo, com mais de 10 anos de serviço, considerados competentes e empenhados, recorreram a estratégias que tiveram em conta os

conhecimentos prévios dos alunos acerca do tema, adquiridos no primeiro ciclo do ensino básico, realizaram atividades experimentais e exercícios de papel e lápis que se encontravam nos manuais, recorreram a vídeos e, inclusive, a analogias entre a circulação do sangue e a circulação rodoviária nas autoestradas. Apesar destas estratégias, a autora verificou, após a administração do pós-teste, a existência de concepções alternativas relativas ao tema em estudo.

Ainda da análise das respostas do pré e pós-teste em que se pretendia averiguar a ocorrência de uma mudança conceptual relativa a esta mesma concepção alternativa 8) *num ião poliatómico o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga do ião*, obtivemos várias que se revelaram persistentes e que, não estando identificadas na literatura como concepções alternativas, nem correspondendo a conceitos científicos, foram por nós incluídas na categoria *outras respostas*. Por exemplo, quando solicitámos às alunas que calculassem o número de oxidação do fósforo no ião fosfato, PO_4^{3-}, algumas referiram que seria *-12*, resultante da multiplicação da carga elétrica global do ião fosfato pelo número de átomos de oxigénio. Outras, referiram que seria *4*, por ser este o número de átomos de oxigénio existentes no ião. Uma hipótese explicativa para estas respostas parece-nos ser o que Bachelard apelida de *vícios do pensamento*: os alunos têm, eventualmente, consciência de que para obter a resposta, necessitam de efetuar algum cálculo (o próprio enunciado da questão induz nesse sentido) logo, utilizam os únicos dados numéricos oferecidos pelo problema – a carga elétrica do ião e o número de átomos de oxigénio- para com estes efetuar uma operação algébrica. O vício do pensamento a que Bachelard se refere parece-nos consistir na obrigatoriedade sentida pela nossa mente em efetuar algum cálculo usando todos, e quaisquer dados numéricos fornecidos num problema. A situação inversa também é válida, isto é, se num problema não for fornecida determinada informação numérica (neste caso, seria o número de oxidação do oxigénio), então não é necessário considerar essa informação nos cálculos a efetuar. Estes resultados – respostas não passíveis de serem identificadas como concepções alternativas ou conceitos científicos- são comuns em estudos empíricos como, por exemplo, o de Leite (1993) que, ao identificar concepções alternativas relativamente ao tema *mecânica* numa turma de 10º ano de escolaridade, obteve várias respostas por parte dos alunos que não estavam identificadas como concepções alternativas na literatura. Outras investigações obtiveram resultados inesperados como, por exemplo, a de Vosniadou e Brewer (1992) e Vosniadou (1994), num estudo com crianças do primeiro ciclo do ensino básico, em que os autores

pretendiam promover a mudança conceptual acerca da visão da Terra como plana para uma visão esférica, tendo concluído que algumas crianças mudaram as suas concepções alternativas iniciais, de uma visão plana para uma em forma de disco, de esfera oca e de esfera achatada – conceitos diferentes do que pretendiam. Do mesmo modo, Çalik et al. (2009) obtiveram no pós-teste respostas que não puderam ser identificadas como concepções alternativas. De referir que, após a implementação do programa de intervenção, estes autores obtiveram respostas que consideraram como concepções alternativas que não haviam sido manifestadas antes da intervenção; isto é, aparentemente, algumas concepções alternativas identificadas no pré-teste deram origem (após o tratamento) a outras, que foram identificadas no pós-teste. Por exemplo, no pré-teste identificaram a concepção alternativa "partículas ou moléculas de soluto em solução são mais pequenas do que antes da dissolução" (p.301) e no pós-teste, identificaram concepções alternativas relacionadas com a não conservação de massa do soluto. Os autores justificam estes resultados pelo facto de as "concepções alternativas serem também peças do pensamento intelectual e interatuam entre si tal como no caso dos conceitos científicos" (p. 302). No nosso estudo, esta situação não ocorreu. Da análise das respostas, as concepções alternativas identificadas no pós-teste já o haviam sido no pré-teste. Contudo, este estudo de Çalik et al. (2009) mostra-nos o quão difícil é obter sucesso na promoção da mudança conceptual; mesmo utilizando estratégias propositadamente concebidas para o efeito, algumas concepções alternativas resistem à mudança e, por vezes, mudam para outras, estabelecendo entre elas uma intrincada teia de inter-relações que constituem uma estrutura conceptual difícil de quebrar.

Relativamente às duas concepções alternativas 11) *o oxidante sofre oxidação* e 12) *o redutor sofre redução*, no pré-teste obtivemos um elevado número de *outras respostas*, o que dificultou a sua identificação e a correspondente mudança conceptual. Com efeito, estas duas concepções alternativas, foram identificadas numa resposta que, depois da intervenção, evoluiu para os conceitos científicos correspondentes, pelo que terá ocorrido mudança conceptual quanto a estas concepções na aluna que as manifestou. Durante a fase de pilotagem, estas duas concepções alternativas haviam sido manifestadas por um maior número de alunos. Estes resultados, na identificação destas duas concepções alternativas são díspares. A dificuldade de promover a mudança conceptual relativamente as estas concepções alternativas não é surpreendente, dado que as associações verbais oxidante/oxidação e redutor/redução são muito fortes. As associações verbais estão, efetivamente, na origem de muitas concepções alternativas, o

que é confirmado pelo estudo empírico de Llorens, Jaime e Llopis (1989) que, através da administração de questionários a alunos espanhóis (n=800) verificaram que estes não distinguiam entre conceitos como *dissolução* e *difusão*, reações *físicas* e *químicas*, *peso* e *massa*, entre outros.

Ao nos referirmos à ocorrência de mudança conceptual, não podemos afirmar que todas as alunas que participaram neste estudo passaram por tal processo. Tratando-se de um processo individual, a mudança conceptual não foi totalmente conseguida. Mais concretamente, das sete alunas que participaram neste estudo, seis passaram por um processo de mudança conceptual e uma, não. Das oito concepções alternativas identificadas no pré-teste, seis terão sofrido mudança conceptual em mais de metade das alunas que as manifestaram; outra terá sofrido mudança conceptual por parte de menos de metade das alunas que a manifestaram e outra, não sofreu mudança conceptual. Esta situação não foi surpreendente, antes, é consentânea com relatos de investigação que vão no sentido de as mudanças conceptuais conseguidas serem apenas parciais, ou seja, consegue-se alterar algumas concepções alternativas mas não outras e alguns alunos passam por um processo de mudança conceptual, mas outros não. Referimos, a título de exemplo, o artigo de Hand e Treagust (1988), que identificaram cinco concepções alternativas relativamente a conceitos de ácido-base e implementaram, em sala de aula, o modelo de Driver e Oldham para promoverem a mudança conceptual; os autores concluíram que duas, das cinco concepções alternativas, não foram alteradas e que num terço dos alunos (n=78), as concepções alternativas permaneceram após o tratamento implementado.

Relativamente à análise estatística efetuada no nosso estudo, obtivemos $t(6)= 6{,}11$, $p<0{,}1$, $d=2{,}5$. Deste resultado, podemos concluir que as diferenças observadas entre os conceitos científicos manifestados pelos sujeitos da amostra traduzidos pelas cotações obtidas no pré-teste ($\overline{X} = 3{,}429$, s=1,397) e no pós-teste ($\overline{X} = 8{,}714$, s=2,059), têm significado estatístico e a magnitude do efeito é grande.

Parece-nos, portanto, que podemos considerar que a estratégia de mudança conceptual, por nós concebida e implementada em sala de aula, com base em pressupostos epistemológicos e psicológicos, nos tópicos da História da Química considerados relevantes e no Conceptual Change Model, se constitui como uma potencial estratégia para conduzir, efetivamente, a uma troca conceptual relativa a conceitos de oxidação-redução.

5.2- Limitações do estudo

As limitações da nossa dissertação relativamente à metodologia adotada foram: (1) a ausência de um grupo de controlo para comparação com os dados colhidos do grupo experimental, o que limita a confiança com que podemos atribuir a mudança conceptual observada ao programa na intervenção que implementámos, (2) a pouca viabilidade de se proceder a uma seleção aleatória dos sujeitos, que teria tido a vantagem de minimizar o efeito da seleção diferencial e (3) a dimensão da amostra, que sendo reduzida, trouxe-nos dificuldades acrescidas na identificação das concepções alternativas e nas inferências acerca da ocorrência de mudança conceptual.

Tentámos acautelar outras ameaças à validade interna, designadamente, a difusão experimental, ou seja, a troca de informações acerca do programa de intervenção entre os participantes do estudo piloto e do estudo principal. Encurtou-se, tanto quanto possível, o intervalo de tempo entre as pilotagens do instrumento que foi utilizado como pré e pós-teste e a implementação do programa de intervenção aos sujeitos do estudo principal. No caso dos sujeitos do estudo principal terem percecionado alguma distinção durante a implementação do programa de intervenção, não nos parece que lhe tenham atribuído alguma importância, pois os alunos participantes no estudo piloto e no estudo principal constituíam dois turnos de uma turma, em que eram correntes as diferenças e adequações metodológicas entre turnos durante o regular funcionamento das aulas. Pela mesma razão, pensamos ter acautelado, também, os efeitos da rivalidade compensatória e da desmoralização dos sujeitos do estudo principal. Pensamos, ter também acautelado, da melhor forma possível, o efeito da testagem ou seja, até que ponto os melhores resultados no pós-teste se terão ficarado a dever ao facto dos sujeitos já terem realizado um pré-teste com as mesmas questões? Para tal, os alunos do estudo principal, que realizaram o pós-teste, não foram previamente informados da sua realização. De salientar que, apesar das tentativas efetuadas para minimizar estas ameaças à validade interna, não podemos garantir, em consciência, a sua supressão.

Ainda, outro efeito que colocaria em causa a validade interna do nosso estudo, refere-se à troca de informações entre os alunos durante a realização quer do pré, quer do pós-teste. Essa troca de informações faria com que as respostas dadas não refletissem o verdadeiro pensamento individual de cada um. Não observámos esta situação e, antes

da administração dos testes, para além das instruções fornecidas, referimos que os resultados não teriam qualquer influência na avaliação das disciplinas curriculares. Assim, embora não possamos garantir de uma forma absoluta, é provável que tal troca de informação não tenha ocorrido. Num estudo a que já nos referimos, Schmidt et al. (2007), pretendendo conceber e validar um teste composto por 29 questões de escolha múltipla para identificar concepções alternativas relativamente ao tema *eletroquímica*, selecionaram, aleatoriamente, uma turma constituída por cerca de 25 alunos do sistema de ensino alemão; distribuíram aleatoriamente os testes por esses alunos, sendo que os testes eram todos diferentes: apenas um aluno recebeu o teste relativo ao tema cujas concepções alternativas os autores pretendiam identificar, enquanto os outros testes continham questões acerca de outros temas de Química. Este procedimento foi repetido com cerca de 150 turmas por forma a garantir a participação de, pelo menos, 3000 alunos e a recolha de 150 testes. Após a análise das respostas, os autores fizeram as alterações que julgaram necessárias e voltaram a administrar o teste a outras 150 turmas, aproximadamente. Os autores realizaram, assim, cinco pilotagens do teste para a finalidade a que se destinava. No total, este estudo envolveu cerca de 16000 alunos do sistema de ensino alemão e foi implementado ao longo de cinco anos. É um bom exemplo, pensamos nós, da importância que os investigadores em Educação atribuem à fase de pilotagem e validação de instrumentos para a recolha de dados, neste caso, um teste para identificação de concepções alternativas.

Leite (1993) menciona outra variável estranha que pode ameaçar a validade da identificação de concepções alternativas nos alunos: a seriedade das respostas, isto é, será que as respostas dos alunos refletem efetivamente a sua maneira de pensar, ou estes respondem aleatoriamente? A autora pretendia identificar concepções alternativas relativas ao tema *mecânica* numa turma do oitavo ano (n= 15) e do décimo ano (n= 14) de escolaridade e, para tal, utilizou entrevistas audiogravadas como instrumento de recolha de dados. Para atenuar a aleatoriedade das respostas, cerca de duas semanas depois das entrevistas, a autora repetiu-as com os mesmos alunos, colocando as mesmas questões. Os alunos afirmavam que já não se lembravam do que tinham respondido na primeira entrevista e Leite verificou que, efetivamente, não havia diferenças significativas entre as respostas dadas pelos alunos nas duas entrevistas. Consequentemente, a autora concluiu que as respostas dos alunos eram coerentes e refletiam a sua maneira de pensar. Ora, nós não recorremos a esta estratégia metodológica mas, da análise das respostas, podemos tecer algumas considerações

quanto à sua consistência interna. Por exemplo, o facto de apenas uma aluna do estudo principal ter manifestado preferência pelo modelo do oxigénio, parece-nos ser consistente com a diminuta identificação da concepção alternativa 2) *se numa reação química não intervier o oxigénio, então não é uma reação de oxidação-redução*. Também verificámos que alguns dos alunos que manifestaram a concepção alternativa 4), de não simultaneidade entre as reações de oxidação e de redução, deram posteriormente, respostas consistentes com essa concepção alternativa, de que é exemplo: "não é uma reação de oxidação-redução visto que ambos os reagentes reduzem-se". Parece-nos, pois, haver evidências de consistência interna nas respostas dos alunos, que consideramos reveladora de empenho e interesse da sua parte e, portanto, nada podemos inferir que apoie falta de seriedade.

No estudo principal, não fomos bem-sucedidos na identificação das concepções alternativas: 6) *se numa equação química não estiverem visíveis os eletrões e/ou iões então não é uma reação de oxidação-redução*; 7) *os números de oxidação podem ser atribuídos a iões poliatómicos, a carga elétrica desse ião indica o seu número de oxidação*; 9) *o número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga elétrica do ião monoatómico desse elemento (quando deveria ser zero);* 10) *numa equação, as mudanças nas cargas de entidades químicas poliatómicas pode ser usado para classificar a reação como oxidação-redução* e 13) *se um átomo ganhar eletrões, forma um ião positivo, se perder eletrões forma um ião negativo*. Apesar de termos efetuado duas pilotagens do pré e pós-teste, nas quais as concepções alternativas 9) e 13) haviam sido identificadas, a ausência daquelas cinco concepções no estudo principal, poderá ter-se ficado a dever às seguintes razões: (1) os alunos, mesmo detendo estas concepções alternativas, eventualmente não as manifestaram; (2) os alunos poderiam deter estas concepções alternativas mas, da análise das respostas, não podemos inferir nada acerca da sua manifestação por as questões não serem adequadas à sua identificação. A concepção das questões do pré e pós-teste poderá, portanto, apresentar algumas vulnerabilidades, apesar de termos aplicado os critérios sugeridos por Schmidt et al. (2007) a que uma questão deve obedecer para ser considerada como boa identificadora de concepções alternativas. Pensamos que estas dificuldades poderiam ser ultrapassadas com um maior número de alunos participantes e a realização de mais pilotagens das sucessivas versões do pré e pós-teste.

Quanto ao programa de intervenção, o tempo disponível para a sua implementação é uma variável importante para o sucesso na promoção da mudança

conceptual. Lembramos que as atividades por nós concebidas foram implementadas em duas aulas de 135 minutos ao longo de uma semana; o pré-teste foi administrado na semana anterior e o pós-teste, na semana seguinte à implementação do programa de intervenção. A propósito do tempo necessário para a promoção da mudança conceptual, diz-nos Vosniadou (2012) que "a mudança conceptual é um processo lento, não apenas porque envolve uma complexa teia de conceitos inter-relacionados, mas também porque requer a construção de novas representações que envolvem mudanças radicais" (p.123). A autora advoga, assim, que a mudança conceptual é um processo lento e gradual, que se constrói passo a passo, já que envolve complexas alterações na estrutura cognitiva. Também Treagust e Duit (2008) referem que a mudança conceptual é radical, mas não abrupta nem repentina. Vários estudos empíricos reportam a duração temporal dos respetivos programas de intervenção com o objetivo de promoverem a mudança conceptual em sala de aula. A título de exemplo referimos: Hand e Treagust (1988) que implementaram 15 aulas em três turmas (n= 18, n= 19 e n= 23) com o objetivo de promoverem a mudança conceptual relativamente a reações ácido-base; Jensen e Finley (1995) implementaram o seu programa de intervenção (n= 42) para a promoção da mudança conceptual relativa ao tema *evolução*, em Biologia, ao longo de 10 semanas, com aulas que totalizaram quatro horas semanais; Vosniadou et al. (2001), implementaram, ao longo de oito semanas, oito aulas, cada uma com a duração de 90 minutos a uma turma (n= 24), com grupo de controlo (n= 17), para promoverem a mudança conceptual relativamente a conceitos da mecânica; Niaz (2002) implementou uma estratégia para promover a mudança conceptual relativa à eletroquímica, a um grupo de alunos universitários (n= 33), com grupo de controlo (n= 35), ao longo de nove semanas.

De facto, a variável *tempo* é determinante para o sucesso da mudança conceptual e reconhecemos que a duração do nosso programa de intervenção tenha sido insuficiente para incentivar, de uma forma sistemática e intencional, o lento e gradual processo de mudança conceptual. Como consequência, algumas das atividades que concebemos carecem de uma implementação mais adequada, tal como é preconizado pelos autores do modelo CCM. Por exemplo, na sexta fase deste modelo, *ir além*, propusemos às alunas que explicassem as razões pelas quais os alcoolímetros mudam de cor na presença de álcool no ar expirado por um condutor. Ora, o ideal teria sido as alunas investigarem e proporem situações novas em que pudessem aplicar o que aprenderam. Esta sim, seria uma atividade que consideramos ter uma natureza suficientemente aberta

e que iria de encontro ao proposto pelos autores do modelo CCM mas que, no nosso caso, se tornou pouco viável por dificuldade de gestão de tempo para a desenvolvermos.

Relembramos que Pintrich et al. (1993) consideram que a motivação é um contributo essencial para o sucesso da mudança conceptual e que esta depende de muitos aspetos, não só interiores, como exteriores à sala de aula. Zembylas (2005) vai mais longe, ao defender que é necessário desenvolver uma união entre as dimensões cognitiva e emocional da aprendizagem; as emoções não são variáveis moderadoras e ocasionais com resultados cognitivos, mas também variáveis com igual estatuto ao das cognitivas. Consideramos, também, que a competência do professor e a qualidade dos recursos didáticos não bastam para incentivar a motivação dos alunos. Ora, todo o trabalho que desenvolvemos com os alunos ocorreu em ambiente de aprendizagem formal, ou seja, em sala de aula e nos horários pré definidos para o decurso das aulas. Tivemos conhecimento do perfil geral dos alunos, das suas aspirações e interesses, porque com eles convivemos, bem como com os seus professores, mas não pudemos acautelar eventuais situações pessoais e familiares que terão influenciado a motivação e a mudança conceptual de cada aluno.

Por conseguinte, para além da dificuldade inerente ao controlo da motivação intrínseca de cada aluno, as limitações do presente estudo residem, também, no facto do sucesso da nossa intervenção, intencional em promover a mudança conceptual relativa a conceitos de oxidação-redução, depender, em parte, da gestão do ambiente em sala de aula, da qualidade dos recursos didáticos que foram usados e da nossa capacidade de replicar as condições de implementação do Conceptual Change Model.

No entanto, somos levados a crer que a condição fundamental no sucesso de qualquer modelo de troca conceptual é a promoção do conflito cognitivo. De facto, de acordo com a literatura consultada, sem o conflito cognitivo, o modelo de mudança conceptual por troca desmoronará e o insucesso será incontornável. Portanto, era forçoso colocar os alunos perante dados contraditórios que desafiassem as concepções alternativas e adotar estratégias em sala de aula que credibilizassem esses dados contraditórios (Chinn e Brewer, 1993). Uma dessas estratégias foi fazer referência a cientistas de reconhecida competência e importância; reproduzindo, em sala de aula, experiências ou atividades realizadas por esses cientistas; utilizando argumentos semelhantes aos que por eles foram utilizados; apresentando as controvérsias e dilemas que os seus trabalhos suscitaram. Foi com esta intenção que, durante o trabalho com os nossos alunos, fizemos referência a Lavoisier, ao seu trabalho, argumentação e

controvérsia face à teoria do Flogisto. Relembramos que Lavoisier argumentava que os óxidos de metais pesariam mais do que os metais de que eram originários devido à captação de oxigénio, o que contradizia o previsto pela teoria do flogisto. Para o demonstrar, Lavoisier provocou a combustão de metais em sistema fechado. Ora, na nossa intervenção, os alunos efetuaram a combustão do magnésio em sistema aberto, tendo obtido um óxido com menor peso que o do metal. Esta contradição com o previsto por Lavoisier foi, pelos alunos, compreendida à luz das limitações experimentais, constituindo uma fragilidade metodológica do presente estudo, atendendo ao objetivo que se propunha com esta atividade. Mas se a reprodução da experiência de Lavoisier apresentou vulnerabilidades quanto ao propósito da credibilização de dados contraditórios, já a experiência da árvore de cobre terá sido melhor sucedida na promoção do conflito cognitivo, uma vez que a ausência do oxigénio permitiu suportar, experimentalmente, o abandono do modelo do oxigénio para a explicação das reações químicas de oxidação-redução.

Sendo o conflito cognitivo um processo eminentemente pessoal, a sua identificação não se afigura fácil tal como é reconhecido por Lee et al. (2003). Referindo-se a estudos que implementaram estratégias de conflito cognitivo em sala de aula, os autores concluem:

> Os investigadores [em Educação], apenas supuseram que os alunos passaram por uma experiência de conflito cognitivo porque conceberam diferentes tipos de situações que pareciam contraditórias para os alunos. Por conseguinte, é de considerar a possibilidade de ter existido uma lacuna entre o que os investigadores esperavam que os alunos vivenciassem e aquilo que realmente viveram. Esta é uma limitação da investigação em estudos para determinar os efeitos do conflito cognitivo na aprendizagem. (p.587)

Reconhecemos que o nosso estudo também pode ser um alvo destas críticas. De facto, concebemos situações (textos, questões, atividades experimentais) que consideramos confrontarem entre si os três modelos explicativos das reações de oxidação-redução, mas será que os nossos alunos reconheceram essa confrontação e viveram um conflito cognitivo?

De entre os vários tipos de comportamento conotados com uma vivência interior de um conflito cognitivo (Festinger, 1975; Zimmerman e Blom, 1983), percecionámos nos nossos alunos, em sala de aula, os seguintes: receio, espanto, embaraço, desconforto, interesse e envolvimento na resolução das situações

conflituantes, hesitação e incerteza na resposta a algumas questões, ou seja, *response latency*. Estes comportamentos sugerem que os alunos terão passado por um conflito cognitivo.

As atividades que desenvolvemos ao longo das várias fases do Conceptual Change Model serviram, entre outros propósitos, o de preparação para o conflito cognitivo. Por conseguinte, o conflito cognitivo foi por nós planeado e assegurámos as estratégias em sala de aula que considerámos promotoras do seu sucesso. No entanto, muito ficou por fazer. Por exemplo, uma forma de fomentar a credibilidade de dados contraditórios teria sido efetuar a repetição da recolha desses dados, bem como a realização de atividades diferentes que confirmassem a contradição, por forma a enfraquecer o argumento da aleatoriedade dos dados experimentais. Tal não foi por nós efetuado, dada a dificuldade de gestão de tempo para o desenvolvimento das atividades do programa de intervenção.

Para além disto, as condições necessárias ao sucesso do conflito cognitivo na promoção da mudança conceptual não estão definitivamente estabelecidas. Vosniadou e Ionnides (1998), referem que "para responder a estas questões, precisamos de mais investigações acerca do desenvolvimento do conhecimento do mundo físico e da aprendizagem da Ciência" (p.1214). Tendo em conta a dificuldade de promover a mudança conceptual, mesmo acautelando situações que dificultariam o despoletar do conflito cognitivo, estamos conscientes que o sucesso na promoção da mudança conceptual é de difícil consecução. Vejamos, por exemplo, o que nos diz Duit (1999) a este propósito:

> Não existe um único estudo citado nas principais bibliografias sobre a investigação das concepções dos alunos em que uma determinada concepção do tipo fortemente enraizado [as concepções alternativas] tenha sido completamente extinta e substituída por uma nova ideia. Muitos estudos mostram que as ideias antigas permanecem vivas em contextos particulares e existe apenas um sucesso limitado relativamente à aceitação das novas ideias. (p.270)

Também Wandersee, Mintzes e Novak (1994) apontam limitações de estudos acerca da mudança conceptual com base na metodologia da investigação utilizada até então:

> São necessárias algumas breves palavras de precaução quanto ao estado da investigação em mudança conceptual. Muito deste trabalho é relativamente recente, e apesar de promissor, é provavelmente melhor descrito como exploratório por natureza. Muitos dos estudos basearam-se em pequenas amostras, métodos não

> testados e modelos de investigação não rigorosos sem grupos de controlo para comparação. Virtualmente, nenhum dos estudos foi replicado. (p.192).

Revemo-nos nas críticas de Wandersee et al. (1994), ou seja, esta dissertação é exploratória como consta no seu próprio título, a nossa amostra é de pequena dimensão, não tivemos grupo de controlo e não replicámos o estudo. Mas Wandersee et al. também referem que há motivos para ter esperança: "As investigações puramente qualitativas continuam a melhorar à medida que os investigadores seguem os avanços nos métodos. Portanto, apesar das limitações que referimos, mantemo-nos impressionados com o relativo sucesso que alguns investigadores atingiram até à data." (p.192). Os autores fazem, também, uma revisão de alguns artigos publicados que corroboram o sucesso a que se referem. Designadamente, trata-se de estudos acerca da mudança conceptual nos domínios da Física, Química e Biologia, com recurso a estratégias que usam o conflito cognitivo, de que são exemplo: Hand e Treagust (1988), que implementaram o modelo de Driver e Oldham para promoverem a mudança conceptual relativa a conceitos de ácido e base e Niaz (1995), que numa turma (n=33) com um grupo de controlo (n= 39), incentivou a mudança conceptual relativa ao conceito *reagente limitante* numa reação química. No que concerne ao futuro da investigação acerca da mudança conceptual, Wandersee et al. concluiram, em 1994: "Pensamos ser mais provável que as estratégias de mudança conceptual mais bem-sucedidas sejam aquelas que se baseiam num quadro de referências alargado e técnicas utilizadas em variadas combinações à medida das necessidades dos alunos." (p.191). A partir desta análise, somos levados a crer estarmos em condições de podermos reivindicar algum sucesso na mudança conceptual que promovemos, apesar das limitações do presente estudo: baseámos as nossas opções metodológicas num quadro de referências diversificadas, adotámos uma estratégia baseada num modelo de troca conceptual combinado com técnicas e recursos didáticos fundamentados e contextualizados num tema específico da Química- as reações de oxidação-redução.

Da análise das dificuldades inerentes à promoção da mudança conceptual e, simultaneamente, das dificuldades metodológicas de controlo das variáveis estranhas que ameaçam a validade interna deste estudo, ganhámos uma crescente consciencialização das suas limitações. Esta consciência leva-nos, pois, a considerar que a ocorrência de mudança conceptual nos nossos alunos relativamente às concepções

alternativas identificadas poderá ser atribuída à implementação do programa de intervenção com um grau de confiança limitado.

5.3- Propostas de futuras investigações

Uma das limitações que referimos na secção anterior, foi a concepção e desenho do pré e pós-teste, pelo facto de não termos conseguido identificar cinco das 13 concepções alternativas a que inicialmente nos propusemos. Uma proposta para trabalho futuro será, por conseguinte, a reformulação e validação de um teste capaz de identificar mais concepções alternativas relativas a conceitos de oxidação-redução.

Da análise das respostas dos alunos ao pré e pós-teste (quer nas pilotagens, quer no estudo principal), surgiram dois conceitos que se revelaram persistentes e que nós integrámos na categoria *outras respostas*. Por conseguinte, pensamos ter interesse investigar se os seguintes conceitos poderão vir a ser considerados como concepções alternativas:

- Num ião poliatómico constituído por átomos de oxigénio, o número de oxidação de um dos elementos corresponde ao número de átomos de oxigénio desse ião;
- Num ião poliatómico constituído por átomos de oxigénio, o número de oxidação de um dos elementos calcula-se multiplicando o número de átomos de oxigénio pela carga do ião.

Com efeito, a inferência de novas concepções alternativas a partir de estudos empíricos está amplamente descrita na literatura. Por exemplo, Leite (1993) averiguou através de entrevistas a estudantes de duas turmas, concepções alternativas acerca do tema *mecânica* que estavam previstas na *Teoria do senso comum para o movimento*, de Ogborn (1985), uma teoria que, apesar de ter sido proposta há quase 30 anos, ainda recentemente foi objeto de investigação (Hast e Howe, 2011, 2012). Leite refere que algumas das respostas dos alunos que se revelavam persistentes não eram previstas pela *teoria do senso comum para o movimento*, pelo que não podiam, à data, ser identificadas como concepções alternativas. A autora propôs, então, uma alteração de modo a "aumentar o carácter predictivo da teoria, reduzindo a percentagem de respostas impossíveis de ser classificadas como newtonianas, ou como concordantes com a teoria

do senso comum" (p. 392). Assim, propondo novas concepções alternativas acerca de conceitos relacionados com a *mecânica*, Leite tornou a teoria de Ogborn mais abrangente, com maior poder preditivo.

Do mesmo modo, propomos, também como futuro trabalho de investigação, a validação da estratégia por nós implementada, com recurso à analogia entre o cálculo de números de oxidação e o equilíbrio de uma balança. A implementação desta estratégia foi bem-sucedida na promoção da mudança conceptual da concepção alternativa 8) *num ião poliatómico, o número de oxidação de um dos seus elementos é igual à carga elétrica do ião*, o que é consentâneo com estudos que suportam a eficácia da utilização de analogias para a promoção da mudança conceptual. A utilização de analogias, afigura-se, contudo, um assunto polémico, pelo que reconhecemos que será necessário aprofundar o estudo acerca deste tema. A nosso ver seria, pois, útil investigar a analogia por nós usada com recurso a um desenho de investigação que incluísse um grupo experimental e grupo de controlo, a fim de estabelecer comparações quanto à sua eficácia na mudança conceptual que observámos no presente estudo.

Uma outra proposta para estudo futuro relaciona-se com a preferência dos alunos pelos modelos de explicação das reações de oxidação-redução. Ringnes (1995) desenvolveu um estudo que lhe permitiu concluir que a preferência dos alunos noruegueses era manifestada pelo modelo de transferência de eletrões. Também é esta a preferência dos alunos manifestada no presente estudo, mas não conhecemos investigações mais abrangentes para a realidade portuguesa. A relevância do estudo que propomos prende-se com a investigação acerca da existência de uma possível relação entre a preferência pelo modelo de *transferência de eletrões* e a concepção alternativa 3) *em todas as reações de oxidação-redução há transferência de eletrões* e a preferência pelo modelo *do oxigénio* e a manifestação das concepções alternativas 1) *em todas as reações químicas, se ocorrer captação de oxigénio então a reação é de oxidação; se ocorrer cedência de oxigénio então a reação é de redução* e 2) *se numa reação química não intervier o oxigénio então não é uma reação de oxidação-redução*. Com base na identificação do modelo preferido pelos alunos o professor poderia, assim, antecipar estas concepções alternativas numa tentativa de as evitar ou de as alterar com recurso a estratégias de mudança conceptual em sala de aula.

Por fim, consideramos que, atualmente, o currículo português de Química inclui o estudo dos três modelos de interpretação das reações de oxidação com omissões importantes. Designadamente, no que respeita ao modelo *do oxigénio*, o estudo da teoria

de Lavoisier omite o contributo e contradição dos estudos de Priestley; quanto ao modelo de *transferência de eletrões*, a teoria de Ostwald vem contemplada, mas sem menção a este cientista e sem inclusão do mecanismo de Grotthus nem a teoria dualista de Berzelius. Também relativamente ao modelo do *número de oxidação*, é estudada a contribuição de Pauling mas sem referência a este cientista, mencionado apenas a propósito do tema Ligação Química, sem contemplar o número de valência de Hildebrand nem os estados de oxidação de Latimer. Estas omissões contribuem, na nossa opinião, para a visão parcimoniosa da Ciência manifestada pelos alunos e identificada por Solbes e Traver (1996), caracterizada por considerarem a Ciência como uma coleção de descobertas díspares, fruto do trabalho individual e não como uma construção e atividade coletiva. Parece-nos, portanto, relevante alterar o currículo de Química e investigar as repercussões da contextualização histórica dos conteúdos no sucesso das aprendizagens dos alunos. Mesmo não estando explicitamente contempladas estas abordagens no currículo, os professores poderão sempre contextualizar os conteúdos, o que envolve necessariamente, a sua formação inicial e contínua. A este propósito, estudos acerca do conhecimento dos professores portugueses sobre concepções alternativas e mudança conceptual, que remontam aos anos 90 (Leite, 1993; Sequeira, Leite e Duarte, 1993) revelam que é pouco aquilo que os professores, no 'terreno', sabem acerca das concepções alternativas dos alunos. De um questionário realizado a professores (n=269), Leite (1993) refere que 48% tinham ouvido falar de concepções alternativas, 93% aperceberam-se de que os alunos manifestavam, em sala de aula, concepções diferentes das cientificamente aceites e, muitos destes professores (53%), fizeram-no sem terem ouvido falar sobre concepções alternativas. Dos professores que conheciam, naquela data, a problemática (n=171), 31% considerava que o ensino tradicional conseguia alterar as concepções alternativas. Por outro lado, Sequeira, Leite e Duarte (1993) referem que as principais dificuldades referidas pelos professores ao lidarem com as concepções alternativas dos seus alunos deviam-se a (1) dificuldade em efetuarem um diagnóstico adequado (2) manifestarem, eles próprios, concepções alternativas acerca dos temas que lecionam e (3) falta de conhecimento e de interajuda no seio dos grupos disciplinares para responder às demandas da mudança conceptual. Seria então pertinente, como futura investigação, abordar questões como: Que materiais e recursos didáticos, a serem incluídos nos manuais escolares, serão relevantes para apoiar professores e alunos naquela tarefa? Como poderão esses recursos favorecer uma abordagem de confronto entre os três modelos de interpretação

das reações de oxidação-redução, por forma a induzir o conflito cognitivo e a favorecer a mudança conceptual, evitando que os alunos misturem as explicações fornecidas por cada modelo e formem os seus próprios "modelos híbridos" (Justi e Gilbert, 2000)?

5.4- Considerações finais

As concepções alternativas, sendo construções humanas, parecem assentar, tal como afirma Leite (1993), numa "necessidade de uma causa para explicar tudo aquilo que eles [os alunos] pensam que precisa de ser explicado" (p.160) e, na ausência de tais explicações, os alunos "inventam causas (causas fictícias) de modo a construir relações causais alternativas" (p.160). Decorrem, portanto, da natureza humana e da procura do conhecimento. Nas palavras de Cachapuz et al. (2002), as concepções alternativas "são erros constitutivos do saber, são uma consequência inevitável de um limite humano" (p.159). Manifestam-se em todas as idades de uma vida humana, embora Carey (2000) refira que são mais proeminentes na infância e na adolescência e são também, transversais a todas as culturas. De facto, Thijs e Berg (1995), relatam uma semelhança que consideram surpreendente nas concepções alternativas na área da Física manifestadas por alunos em países geograficamente distantes e meios culturais e religiosos tão diferentes como a Holanda, a Indonésia e diversos países de África como, por exemplo, Zimbabué, Suazilândia e Lesoto. Ainda, relativamente ao contexto social dos alunos, Leite refere que o seu estatuto socioeconómico não parece influenciar as concepções alternativas manifestadas, o que é reforçado pelo estudo de Rodrigues (2011). Esta autora administrou testes a alunos portugueses do primeiro ciclo oriundos de contextos socioeconómicos favorecidos e aos respetivos progenitores, para identificar concepções alternativas relativas ao conceito *radiação solar* e verificou a existência destas nos alunos, apesar de os seus progenitores manifestarem conceitos cientificamente aceites. Consideramos, portanto, ser expectável o professor deparar-se, em sala de aula, com um conjunto constante de concepções alternativas manifestadas pelos alunos, quaisquer que sejam as suas idades e proveniências socioeconómicas.

Assim, a mudança conceptual torna-se imperiosa. O ensino por mudança conceptual constituiu-se como um modelo de ensino desde os anos 80; Cachapuz et al. (2002) referem-se-lhe como uma "perpectiva de ensino" baseada na mudança de

conceitos e Carey (2000) considera o ensino das ciências como uma constante mudança conceptual.

Os modelos baseados na mudança conptual por troca preconizam a consciencialização das concepções alternativas e o conflito cognitivo como estratégias. Os resultados obtidos no nosso estudo reforçam a ideia de que a mudança conceptual só pode ser bem-sucedida se forem adotadas estratégias que tenham em conta as concepções alternativas dos alunos, que delas se devem consciencializar, tal como é preconizado no Conceptual Change Model. O conflito cognitivo deverá ser provocado através de eventos dissonantes, com recurso à realização de atividades experimentais, debates, analogias, textos argumentativos ou outras estratégias em sala de aula que confrontem e enfraqueçam as concepções alternativas. Mantemos presente, no entanto, que os alunos conservarão as suas concepções alternativas enquanto com elas estiverem satisfeitos, por lhes serem úteis e por serem explicações coerentes acerca do mundo que os rodeia. A proficiência do professor não garante, por si só, o sucesso da mudança conceptual. Esta deverá ser intencional e sistemática para ser bem-sucedida.

No entanto, o peso da cultura escolar dos professores, que tende a uniformizar as estratégias de ensino, é outro forte obstáculo à promoção da mudança conceptual. Com efeito, os professores estão habituados e enraizados em abordagens tradicionais de ensino formal, muitas vezes excessivamente quantitativas, como por exemplo, fazer cálculos repetitivos e usar equações, quantas vezes erradamente designadas por *fórmulas* - vejam-se, a este propósito, os estudos realizados na área de resolução de problemas de Fiuza (2010) e Neto (1998). Ora a mudança conceptual é um processo essencialmente qualitativo (com eventuais resultados quantitativos), a que o professor não está habituado.

Porque pretendemos ir de encontro a esse salto qualitativo, assente na mudança conceptual, acalentamos a esperança de que as atividades que concebemos, avaliámos e implementámos nesta dissertação, possam vir-se a constituir como um contributo para que outros possam utilizar como uma potencial estratégia que promove, em sala de aula, a mudança conceptual relativamente a algumas concepções alternativas na área da Química.

Referências bibliográficas

Al-Kunifed, A. & Wandersee, J.H. (1990). One hundred references related to concept mapping. *Journal of Research in Science Teaching, 27*(10), 1069-1075. doi:10.1002/tea.3660271013.

Anselme, J-P. (1997). Understanding oxidation-reduction in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education, 74*(1), 69-72. doi:10.1021/ed074p69

Asimov, I. (1965). A short history of chemistry. New York, USA: Anchor Books.

Asimov, I. (1969). Adding a dimension. London, UK: Lancer Books Inc.

Ausubel, D.P., Novak, J.D. & Hanesian, H. (1980). Psicologia educacional. (edição original de 1968). Rio de Janeiro, Brasil: Interamericana.

Bachelard, G. (2006). A formação do espírito científico. (edição original de 1938). Lisboa: Dinalivro.

Bardin, L. (2011). Análise de conteúdo (4ª edição). Lisboa: Edições 70.

Barke, H. D., Hazari, A. & Yitbarek, S. (2009). Misconceptions in Chemistry. Addressing perceptions in chemical education. Berlin, Germany: Springer-Verlag.

Bell, M.S. (2007). Lavoisier no ano um. O nascimento de uma nova ciência numa época de revolução. Lisboa: Gradiva.

Berg, K. C. (2011). Joseph Priestley across theology, education and Chemistry: an interdisciplinar case study in epistemology with a focus on the science education context. *Science & Education, 20*(7-8), 805-830. doi:10.1007/s11191-010-9270-y.

Bonito, J., Rebelo, D., Morgado, M., Monteiro, G., Medina, J., Marques, L., Martins, L., & Louro, M. (2011). A complexidade do tempo geológico e a aprendizagem da geologia de alunos portugueses (12-13 anos). *Terrae Didatica, 7*(1), 63-76. Recuperado de http://hdl.handle.net/10174/4296.

Brescia, F., Arents, J., Meislich, H. & Turk, A. (1980). Fundamentals of chemistry. New York, USA: Academic Press.

Brinkley, S. R. (1925). Applications of the electron concept to oxidation-reduction reactions in General Chemistry. *Journal of Chemical Education, 2*(7), 576-584. doi:10.1021/ed002p576.

Brinkley, S. R. (1929). Typical oxidation-reduction reactions in General Chemistry. *Journal of Chemical Education, 6*(11), 1894-1904. doi:10.1021/ed006p1894.

Brock, W. H. (1992). The Fontana History of Chemistry. London, UK: Fontana Press.

Brock, W.H. (2000). The chemical tree. A history of Chemistry. New York, USA: Norton & Company Inc.

Brown, D. & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science, 18*(4), 237-261. doi: 10.1007/BF00118013.

Brown, D. & Clement, J. (1992). Classroom teaching experiments in mechanics. In Duit, R., Goldberg, F. & Niedderer, H. (Eds). Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies. (pp.380-397). Kiel, Germany: Institute for Science Education.

Brush, S.G. (1978). Why Chemistry needs History – and how it can get some. *Journal of College Science Teaching, 7*, 288-291.

Brush, S.G. (2000). Thomas Kuhn as a historian of Science. *Science & Education, 9*(1-2), 39-58. doi: 10.1023/A:1008761217221

Bybee, R.W. & Landes, N.M. (1990). Science for life & living. An elementary school science program from biological sciences curriculum study. *The American Biology Teacher, 52*(2), 92-98.

Cachapuz, A., Praia, J. & Jorge, M. (2002) Ciência, educação em ciência e ensino das ciências. Lisboa: Instituto de Inovação Educacional, Ministério da Educação.

Çakir, O. S., Geban, O. & Yuruk, N. (2002). Effectiveness of conceptual change text-oriented instruction on students' understanding of cellular respiration concepts. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 30 (4), 239-243. doi: 10.1002/bmb.2002.494030040095.

Çalik, M., Ayas, A. & Ebenezer, J. (2009). Analogical reasoning for understanding solution rates: students' conceptual change and chemical explanations. *Research in Science & Technological Education, 27* (3), 283-308. doi: 10.1080/02635140903162611.

Canpolat, N., Pinarbasi, T., Bayrakçeken, S. & Geban, O. (2006). The conceptual change approach to teaching chemical equilibrium. *Research in Science and Technological Education, 24* (2), 217-235. doi: 10.1080/02635140600811619.

Carey, S. (1985). Conceptual change in childhood. Massachusetts, USA: MIT Press.

Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: enrichment or conceptual change? In Carey, S. & Gelman, R. (Eds.), The epigenisis of mind. Essays on Biology and cognition (pp. 257-291). New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Carey, S. (1992). The origin and evolution of everyday concepts. In Giere, R.N. (Ed.). Cognitive models of science. (pp.89-128). Minneapolis, USA: University of Minnesota Press.

Carey, S. (2000). Science education as conceptual change. *Journal of Applied Developmental Psychology, 21* (1), 13-19. doi: 10.1016/S0193-3973(99)00046-5.

Carey, S. (2009). The origin of concepts. New York, USA: Oxford University Press.

Cavaleiro, M.N. & Beleza, M.D. (2011). FQ8 Sustentabilidade na Terra. Ciências Físico-Químicas 8º ano, 3º ciclo do Ensino Básico (3ª ed.). Portugal: Edições Asa.

Challoner, J. (1998). Dicionário visual da Química. Lisboa: Editorial Verbo.

Champagne, A., Gunstone, R. & Klopfer, L. (1985). Effecting changes in cognitive structures among physics students. In West, L. & Pines, A. (Eds), Cognitive structure and conceptual change, pp. 163-187. Orlando, USA: Academic Press.

Chang, R. (2005). Química, 8ª edição. Lisboa: McGraw-Hill.

Chi, M.T.H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. In Giere, R.N. (Ed.). Cognitive models of science (pp.129-187). Minneapolis, USA: University of Minnesota Press.

Chinn, C.A. & Brewer, W.F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research, 63*(1), 1-49. doi:10.3102/00346543063001001.

Coelho, J.P., Martins, I.L. & Cunha, L.M. (2009). Inferência estatística com utilização do SPSS e do G*power. Lisboa: Edições Sílabo.

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). New Jersey, USA: Lawrence Earlbaum Associates.

Conboy, J. (2003a). Algumas medidas típicas univariadas da magnitude do efeito. *Análise Psicológica, 2* (XXI), 145-158.

Conboy, J. (2003b). A magnitude de efeito como forma de análise em ciências sociais. *Lusíada Psicologia, I* (1), 187-2000.

Cosgrove, M. & Osborne, R. (1985). Lesson frameworks for changing children's ideas. In Osborne, R. & Freyberg, P. (Eds.), Learning in science. The implications of children's science (pp.101-111). New Zeland: Heinemann.

Creswell, J.W. (2012). Educational research. Planning, conducting and evaluating quantitative and qualitative research (4th Ed.). Boston, USA: Pearson.

Dagher, Z.R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? Science Education, 78 (6), 601-614. Doi: 10.1002/sce.3730780605.

De Jong, O. & Treagust, D.F. (2002). The teaching and learning of Electrochemistry. In Gilbert, J.K., De Jong, O. Justi, R., Treagust, D.F. & Van Driel, J.H. (Eds.), Chemical Education: towards research-based practice, pp. 317-339, New York, USA: Kluwer Academic Publishers.

DeMeo, S. (2007). Constructing a graphic organizer in the classroom: introductory students' perception of achievement using a decision map to solve aqueous acid-base equilibria problems. *Journal of Chemical Education, 84(3),* 540-546. doi:10.1021/ed084p540.

diSessa, A. A. (2006). A history of conceptual change research. In Sawyer, R.K. (Ed.), The Cambridge handbook of the learning sciences (pp. 265-281). Cambridge, UK: University Press.

Dole, J.A. (2000). Readers, texts and conceptual change learning. *Reading and Writing Quaterly, 16* (2) , 99-118. doi: 10.1080/105735600277980.

Donnelly, R. (2007). The complete idiot's guide to statistics (2nd ed.). New York, USA: Peguin Group Inc.

Driver, R. & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education, 5*(1), 61-84. doi: 10.1080/03057267808559857.

Driver, R. (1983). The pupil as scientist? Milton Keynes, UK: Open University Press.

Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (1985). Children's ideas in science. Milton Keynes, UK: Open University Press.

Driver, R. & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education, 13*(1). doi:105-122.10.1080/03057268608559933.

Driver, R., Squires, A., Rushworth,P & Wood-Robinson, V. (2006). Making sense of secondary science. Research into children's ideas (edição original de 1994). London, UK: Routledge Falmer.

Duit, R. (1993). Research on students' conceptions- developments and trends. Third misconceptions seminar proceedings. Recuperado de http://www.mlrg.org/proc3pdfs/Duit_studentConceptions.pdf.

Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In Schnotz, W., Vosniadou, V. & Carretero, M. (Eds). New perspectives on conceptual change. (pp. 263-314). Oxford, U.K.: Elsevier Science Ltd.

Duit, R. (2009). Students' and teachers' conceptions and science education. Kiel, Germany: IPN at the University of Kiel. Recuperado de http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html.

Ertl, G. (2009). Wilhelm Ostwald: founder of Physical Chemistry and Nobel laureate 1909. *Angewandte Chemie International Edition, 48*(36), 6600-6606. doi:10.1002/anie.200901193.

Faísca, L. (2010). Testes de hipóteses. Sua aplicação e limites. Seminários de métodos e análise de dados. Faro: Universidade do Algarve. Recuperado de http://w3.ualg.pt/~lfaisca/SMAD01/SMAD_Testes%20Hipoteses_PPT.pdf

Fara, P. (2010). Joseph Priestley: Docter Phlogiston or Reverend Oxygen? *Endeavour, 34*(3), 84-86. doi:10.1016/j.endeavour.2010.07.005.

Feldsine, J.E. (1987). Distinguishing student misconceptions from alternative conceptual framework through the construction of concept maps. In Novak, J.D. (Ed.), Misconceptions and educational strategies in science and mathematics (Vol. I, pp. 177-181). New York, USA: Procedings of the International Seminar, Cornell University. Recuperado da base de dados ERIC, ED 293684.

Fensham, P.J. (1980). A research base for new objectives of science teaching. *Research in Science Education, 10*(1), 23-33. doi:10.1007/BF02356306.

Festinger, L. (1975). Teoria da dissonância cognitiva. Rio de Janeiro, Brasil: Zahar.

Field, A. (2009). Discovering statistics using SPSS (3^{th} edition). California, USA: SAGE Publications.

Finley, F. N., Stewart, J. & Yarroch, W.L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education, 66*(4), 531-538. doi:10.1002/sce.3730660404.

Fiuza, E. (2010). *Papel do contexto de aprendizagem na resolução de problemas em Ciência* (Tese de Doutoramento). Lisboa: Instituto de Educação da Universidade de Lisboa.

Francisco, J.S., Nakhleh, M.B., Nurrenbern, S.C. & Miller, M.L. (2002). Assessing student understanding of general Chemistry with concept mapping. *Journal of Chemical Education, 79*(2), 248-257. doi:10.1021/ed079p248.

Fundação para a Computação Científica Nacional (2008). RCAAP- Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal. Agência para a Sociedade do Conhecimento, IP. http://www.rcaap.pt/

Galili, I. & Bar, V. (1992). Motion implies force: where to expect vestiges of the misconceptions? *International Journal of Science Education, 14*(1), 63-81. doi:10.1080/0950069920140107.

Gall, M.D., Gall, J.P. & Borg, W.R. (2007). Educational research. (8th edition). USA: Pearson International Edition.

Garnett, P.J., Garnett, P.J. & Hackling, M.W. (1995). Student's alternative conceptions in Chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education, 25*(1), 69-95. doi:10.1080/03057269508560050.

Garnet, P.J., Garnett, P.J. & Treagust, D.F. (1990). Implications of research on students´ understanding of electrochemistry for improving science curricula and classroom practice. *International Journal of Science Education, 12*(2), 147-156. doi:10.1080/0950069900120203.

Garnett, P.J. & Treagust, D.F. (1992a). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching, 29*(2), 121-142. doi:10.1002/tea.3660290204.

Garnett, P.J. & Treagust, D.F. (1992b). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching, 29*(10), 1079-1099. doi: 10.1002/tea.3660291006.

Gentner, D. , Brem, S., Ferguson, R.W., Markman, A.B., Levidow, B.B., Wolff, P. & Forbus, *K.D.* (1997). Analogical reasoning and conceptual change: a case study of Johannes Kepler. *Journal of the Learning Sciences, 6*(1), 3-30. doi:10.1207/s15327809jls0601_2.

Gilbert, J.K., Osborne, R.J. & Fensham, P.J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education, 66*(4), 623-633. doi:10.1002/sce.3730660412.

Glynn, S.M. & Takahashi, T. (1998). Learning from analogy-enhanced science text. *Journal of Research in Science Teaching, 35*(10), 1129-1149.

Goh, N.K. & Chia, L.S. (1986). A practical way to diagnose pupils' misconceptions in science. *Teaching and Learning, 6*(2), 66-72. Recuperado de http://hdl.handle.net/10497/2270.

Gregg, D. C. (1945). A simplified electronic interpretation of oxidation-reduction for use in the teaching of Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education, 22*(11), 548-553. doi:10.1021/ed022p548.

Greenberg, A. (2007). From alchemy to chemistry in picture and story. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.

Guzzetti, B.J., Snyder, T.E., Glass, G.V. & Gamas, W.S. (1993). Promoting conceptual change in science: a comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quarterly, 28* (2), 116-159.

Hall, W. T. (1929). Oxidation-Reduction reactions. *Journal of Chemical Education, 6*(3), 479-485. doi:10.1021/ed006p479

Hall, W. T. (1944). High-school instruction on the electromotive series. *Journal of Chemical Education,* 21(8), 403-406. doi:10.1021/ed021p403.

Hand, B.M. & Treagust, D.F. (1988). Application of a conceptual conflict teaching strategy to enhance student learning of acids and bases. *Research in Science Education, 18* (1), 53-63. doi: 10.1007/BF02356580.

Hast, M. & Howe, C. (2011). Towards a complete commonsense theory of motion: the interaction of dimensions in children's predictions of natural object motion. *International Journal of Science Education*, 1-14. doi:10.1080/ 09500693.2011.604685.

Hast, M. & Howe, C. (2012). Understanding the beliefs informing children's commonsense theories of motion: the role of everyday object variables in dynamic event predictions. *Research in Science & Technological Education, 30* (1), 3-15. Doi: 10.1080/02635143.2011.653876.

Hayes, B.K., Goodhew, A., Heit, E. & Gillan, J. (2003). The role of diverse instruction in conceptual change. *Journal of Experimental Child Psychology, 86*, 253-276. Recuperado de http://faculty.ucmerced.edu/eheit/earth.pdf

Hewson, P.W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *International Journal of Science Education, 3*(4), 383-396. doi:10.1080/0140528810304004

Hofstein, A. & Kind, P.M. (2012). Learning in and from science laboratories. In Frase, B.J. & Tobin, K.G. (Eds). Second international handbook of science education (pp. 189-208). London, New York: Springer.

Horton, C. (2004). Student preconceptions and misconceptions in Chemistry. Assumption College, Worcester, USA. Recuperado de http://assessment-ws.wikispaces.com/file/view/chemistry-misconceptions.pdf.

Idhe, A.J. (1984). The development of modern Chemistry. New York, USA: Dover Publications Inc.

Jaselkis, B., Moore, C.E. & von Smolinsk, A. (2007). Theodor von Grotthuss (1785-1822) – a trail blazer. *Bulletin for the History of Chemistry, 32(2)*, 119-127. Recuperado de http://www.scs.illinois.edu/~mainzv/HIST/ bulletin_ open_ access/v32-2/v32-2%20p119-128.pdf

Jensen, W. B. (1996). Electronegativity from Avogadro to Pauling. Part I: origins of the electronegativity concept. *Journal of Chemical Education, 73*(1), 11-20. doi:10.1021/ed073p11.

Jensen, W.B. (2003). Electronegativity from Avogadro to Pauling: II. Late nineteenth and early twentieth-century developments. *Journal of Chemical Education, 80*(3), 279-287. **doi:** 10.1021/ed080p279.

Jensen, W. B. (2007). The origin of the oxidation-state concept. *Journal of Chemical Education, 84*(9), 1418-1419. doi:10.1021/ed084p1418.

Jensen, W. B. (2012a). When was electronegativity first quantified? I. *Journal of Chemical Education, 88,* 94-96. Recuperado de http://www.che.uc.edu/ jensen/W.%20B.%20Jensen/Reprints/179.%20EN%20I.pdf

Jensen, W. B. (2012b). When was electronegativity first quantified? II. *Journal of Chemical Education, 89*, 94-96.

Jensen, W. B. (2012c). The quantification of electronegativity: some precursors. *Journal of Chemical Education, 89*(1). doi:94-96 10.1021/ed1011822

Jensen, M.S. & Finley, F.N. (1995). Teaching evolution using historical arguments in a conceptual change strategy. *Science Education, 79*(2), 147-166. doi:10.1002/sce.3730790203.

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: a changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education, 70*(9), 701-705. doi:10.1021/ed070p701.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of Chemistry – logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice, 1*(1), 9-15. doi:10.1039/A9RP90001B.

Johnstone, A. H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice, 7(2)*, 49-63. doi:10.1039/B5RP90021B.

Justi, R. & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education, 22*(9), 993-1009. doi:10.1080/095006900416875.

Keeley, P. & Harrington, R. (2010). Uncovering student ideas in Physical Science, Vol. 1. 45 new force and motion assessment probes. Arlington, Virginia, USA: National Science Teachers Association Press.

Kind, V. (2004). Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas, 2nd edition, School of Education, Durham University, London, UK. Edição da autora. Recuperado de http://www.rsc.org/images/Misconceptions_ update_tcm18-188603.pdf.

Kuhn, T.S. (2009) A estrutura das revoluções científicas (edição original de 1962). Lisboa: Guerra e Paz Editores.

Lagarto, C.R. (2011). *A aprendizagem do sistema circulatório humano no 6º ano de escolaridade do ensino básico: um estudo exploratório* (Dissertação de Mestrado), Universidade do Algarve. Recuperado de http://hdl.handle.net/10400.1/2571

Langmuir, I. (1919). The structure of atoms and the octet theory of valence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 5*(7), 252-259. Recuperado de http://www.ncbi.nlm.nih.gov/ pmc/articles/ PMC1091587/

Lazarowitz,R. & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. In Gabel, D.L. (Ed.). Handbook of research on science teaching and learning. A project of the National Science Teachers Association. (pp. 94-128). New York, USA: Macmillan.

Latimer, W. M. (1938). The oxidation states of the elements and their potentials in aqueous solutions. New York, USA: Prentice Hall.

Lee, G., Kwon, J., Park, S-S., Kim, J-W., Kwon, H-G. & Park, H-K. (2003). Development of an instrument for measuring cognitive conflict in secondary-level science classes. *Journal of Research in Science Teaching, 40*(6), 585-603. doi: 10.1002/tea.10099.

Leicester, H. M. & Klickstein, H. S. (1952). A source book in Chemistry 1400-1900. Massachusetts, USA: Harvard University Press.

Leite, L. (1993). *Concepções alternativas em mecânica. Um contributo para a compreensão do seu conteúdo e persistência*. (Tese de doutoramento). Braga: Universidade do Minho. (Recuperado de http://hdl.handle.net/1822/54).

Leite, L. (2002). History of science in science education: development and validation of a checklist for analyzing the historical content of science textbooks. *Science & Education, 11*(4), 333-359. doi: 10.1023/A:1016063432662.

Lewis, G. N. (1916). The atom and the molecule. *Journal of the American Chemical Society, 38*(4), 762-785. doi: 10.1021/ja02261a002.

Lewis, E.L. & Linn, M.C. (1994). Energy and temperature concepts of adolescents, adults and experts: implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching, 31*(6), 657-677. doi: 10.1002/tea.3660310607.

Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: a critical appraisal. *Learning and Instruction, 11*(4-5), 357-380. doi:10.1016/S0959-4752(00)00037-2.

Llorens, J.A., de Jaime, M.C. & Llopis, R. (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciências. *Enseñanza de las Ciencias, 7* (2), 111-119. Recuperado de http://ddd.uab.es/pub/edlc /02124521v7n2p111.pdf

Lopes, B., Paixão, F., Praia, J., Guerra, C. & Cachapuz, A. (2005). Epistemologia da didáctica das ciências: um estudo sobre o estado da arte da investigação. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congresso. Recuperado de http://hdl.handle.net/10400.11/1430.

Lourenço, I.M. (2008). *A História da Física no ensino da Física. A evolução da descoberta do electromagnetismo na História e no ensino da Física* (Dissertação de Mestrado). Lisboa, Universidade Nova de Lisboa. Recuperado de http://hdl.handle.net/10362/1940.

Lunetta, V.N., Hofstein, A. & Clough, M.P. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: an analysis of research, theory and practice. In Abell, S.K. & Lederman, N.G. (Eds). Handbook of research on science education. (pp. 393-441). New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Machado, M.D. & Lima, N. (2009). Concepções dos alunos do Ensino Básico (1º Ciclo) sobre o ciclo de uso da água. Artigo apresentado no V Seminário International/II Ibero Americano de Educação Física, Lazer. Ponta Delgada, Portugal. Recuperado de http://hdl.handle.net/1822/9294.

Maroco, J. (2007). Análise estatística (3ªed.). Lisboa: Edições Sílabo.

Martins, I. (1990). *A energia das reações químicas: modelos interpretativos usados por alunos do ensino secundário*. (Tese de doutoramento). Universidade de Aveiro.

Martins, I., Marques, L., Costa, N., Paixão, F. & Praia, J. (2008). António Cachapuz, registo de um compromisso com a formação e a investigação em educação em ciência. Universidade de Aveiro. Disponível em http://hdl.handle.net/10400.11/429.

Marques, L. F. (1995). *From misconceptions to modified strategies in earth sciences in portuguese secondary education*. (Tese de doutoramento). UK: University of Keele.

Matthews, M.R. (1994). Science teaching. The role of History and Philosophy of Science. London, UK: Routledge.

Mertens, D.M. (2010). Research and evaluation in Education and Psychology (3th edition). USA: Sage Publications Inc.

Mikulecky, P.J., Brutlag, K. Gilman, M.R. & Peterson, B. (2008). Chemistry workbook for dummies. New York, USA: Wiley Publishing Inc.

Miller, F.A. (1987). Joseph Priestley, preeminent amateur chemist. Profiles in Chemistry. *Journal of Chemical Education, 64(9),* 745-747. doi:10.1021/ed064p745.

Mintzes, J.J. & Wandersee, J.H. (1998). Investigação no ensino e aprendizagem da ciência: uma visão construtivista, In Mintzes, J.J., Wandersee, J. H.& Novak, J.D. (Eds.), Ensinando Ciência para a Compreensão, uma visão construtivista. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.

Moore, C.B., Abella, I.D., Abraham, N.B., Boggs, G. et al (1997). Science teaching reconsidered: a handbook. Committee on undergraduate science education. Washington, USA: National Academy Press. Retirado de http://www.nap.edu/catalog/5287.html

Moore, F. J. (1918). A History of Chemistry. New York, USA: McGraw-Hill. Recuperado de http://archive.org/details/ahistorychemist00hallgoog

Moreira, M.A. & Masini, E.F.S. (1982). Aprendizagem significativa. A teoria de David Ausubel. São Paulo, Brasil: Editora Moraes.

Moreira, M.A. & Buchweitz, B. (2000). Novas estratégias de ensino e aprendizagem. Os mapas conceptuais e o vê epistemológico (2ª ed.). Lisboa: Plátano Edições Técnicas.

Morin, E. (1994). Ciência com consciência (edição original de 1982). Lisboa: Publicações Europa-América.

Mortimer, E.F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education, 4*(3), 267-285. doi:10.1007/BF00486624.

Mortimer, E.F. (2006). Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências. (1ª reimpressão, edição original de 2000). Belo Horizonte, Brasil: Editora UFMG.

Moyer, R.H., Hackett, J.K. & Everett, S.A. (2007). Teaching science as investigations. Modeling inquiry through learning cycle lessons. New Jersey, USA: Pearson Merill Prentice Hall.

Mulford, D.R. & Robinson, W.R. (2002). An inventory for alternative conceptions among first semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education, 79*(6), 739-744. doi:10.1021/ed079p739.

Murteira, B., Ribeiro, C.S., Silva, J.A. & Pimenta, C. (2008). Introdução à estatística (2ª ed.). Lisboa: McGraw-Hill.

Naylor, S. & Keogh, B. (2000). Concept cartons in science education. London, UK: Millgate House Publishers.

Niaz, M. (1995). Cognitive conflict as a teaching strategy in solving chemistry problems: a dialetic-constructivist perspective. *Journal of Research in Science Teaching, 32* (9), 959-970. doi: 10.1002/tea.3660320907.

Niaz, M. (2001). Response to contradiction: conflict resolution strategies used by students in solving problems of chemical equilibrium. *Journal of Science Education and Technology, 10* (2), 205-211. doi: 10.1023/A:1009481416943.

Niaz, M. (2002). Facilitating conceptual change in students' understanding of electrochemistry. *International Journal of Science Education, 24* (4), 425-439. doi: 10.1080/09500690110074044.

Niaz, M. (2010). Science curriculum and teacher education: the role of presuppositions, contradictions, controversies and speculations vs Kuhn's normal science. *Teaching and Teacher Education, 26* (4), 891-899. doi: 10.1016/ j.tate.2009.10.028.

Niaz, M., Aguilera, D., Maza, A. & Liendo, G. (2002). Arguments, contradictions, resistances and conceptual change in students' understanding of atomic structure. Science Education, 86 (4), 505-525. doi: 10.1002/sce.10035.

Neto, A.J. (1998). Resolução de problemas em Física. Lisboa: Instituto de Inovação Educacional.

Novak, J.D. (1990). Concept mapping: a useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching, 27*(10), 937-949. doi:10.1002/tea.3660271003

Novak, J.D. (1993). Human constructivism: a unification of psychological and epistemological phenomena in meaning making. *International Journal of Personal Construct Psychology, 6*(2), 167-193. doi: 10.1080/ 08936039308404338.

Novak, J.D., Gowin, D.B. (1996). Aprender a aprender (edição original de 1984). Lisboa: Plátano Edições Técnicas.

Novak, J.D. (2000). Aprender, criar e utilizar o conhecimento. Mapas conceptuais como ferramentas de facilitação nas escolas e empresas. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.

Novak, J.D. (2004). Entrevista concedida e publicada em Cardellini, L. (2004). Conceiving of concept maps to foster meaningful learning: an interview with Joseph D. Novak. *Journal of Chemical Education, 81*(9), 1303-1308 doi:10.1021/ed081p1303.

Nussbaum, J. & Novick, S. (1981). Brain storming in the classroom to invent a model: a case study. *School Science Review, 62*(221), 771-778.

Nussbaum, J. & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science, 11*(3), 183-200. doi: 10.1007/BF00414279.

Ogborn, J. (1985). Understanding students' understandings: an example from dynamics. *European Journal of Science Education, 7* (2), 141-150. doi: 10.1080/ 0140528850070205.

Oliveira, M.T. (1996). *A metáfora, a analogia e a construção do conhecimento científico no ensino e na aprendizagem. Uma abordagem didáctica*. (Tese de doutoramento). Universidade Nova de Lisboa. Recuperado de: http://hdl.handle.net/10362/327.

Oppenheimer, J.R. (1953). Ciência e saber comum. Lisboa: Livros do Brasil.

Osborne, R.J., Bell, B.F. & Gilbert, J.K. (1983) Science teaching and children's views of the world. *European Journal of Science Education, 5*(1), 1-14. doi:10.1080/0140528830050101.

Osborne, R.J. & Wittrock, M.C. (1983). Learning science: a generative process. *Science Education, 67*(4), 489-508. doi:10.1002/sce.3730670406.

Osborne, R. & Freyberg, P. (1985). Learning in science. The implications of children's science. New Zealand: Heinemann Education.

Pallant, J. (2011). SPSS survival manual. A step by step guide to data analysis using SPSS (4th edition). Australia: Allen & Unwin.

Partington, J.R. (1961a). A History of Chemistry. Vol. 3. London, UK: Macmillan Press.

Partington, J.R. (1961b). A History of Chemistry. Vol. 4. London, UK: Macmillan Press.

Pauling, L. (1950). College Chemistry. An introductory textbook of General Chemistry. USA: W. H. Freeman and Company.

Pauling, L. (1960). The nature of the chemical bond, (3ª ed., edição original de 1939), Ithaca, New York, USA: Cornell University Press.

Peixoto, A.M. (2009). *Efeito de estufa e aquecimento global: um estudo com alunos de Física e Química de 3º Ciclo e Secundário* (Dissertação de Mestrado). Braga: Universidade do Minho. Recuperado de http://hdl.handle.net/1822/9945.

Peterson, R., Treagust, D. & Garnett, P. (1986). Identification of secondary students' misconceptions of covalent bonding and structure concepts using a diagnostic instrument. *Research in Science Education, 16*(1), 40-48. doi:10.1007/BF02356816.

Pestana, M. H. & Gageiro, J. N. (2008). Análise de dados para ciências sociais. A complementaridade do SPSS (5ª edição). Lisboa: Edições Sílabo.

Piaget,J. (1977a). O desenvolvimento do pensamento. Equilibração das estruturas cognitivas. Lisboa: Publicações Dom Quixote.

Piaget, J. (1977b) The child's conception of the world (edição original de 1929). New Jersey, USA: Littlefield, Adams & Co.

Piaget, J. (1990). Seis estudos de Psicologia (10ª ed., edição original de 1973). Lisboa: Publicações Dom Quixote.

Piaget, J. & Garcia, R. (2011). Psicogénese e história das ciências (edição original de 1983). Rio de Janeiro, Brasil: Editora Vozes.

Pintrich, P.R., Marx, R.W. & Boyle, R.A. (1993). Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research, 63*(2), 167-199. doi:10.3102/00346543063002167.

Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education, 66*(2), 211-227. doi: 10.1002/sce.3730660207.

Pozo, J.I & Gómez Crespo, M.A. (2009) Aprender y enseñar ciência (sexta edición). Madrid, Espanha: Ediciones Morata.

Regis, A. & Albertazzi, P.G. (2004). Concept maps in Chemistry education. *Journal of Chemical Education, 73*(11), 1084-1088. doi:10.1021/ed073p1084

Ringnes, V. (1995). Oxidation-reduction – learning difficulties and choices of redox models. *School Science Review, 77*(279), 74-78.

Rodrigues, M. (2011). *Concepções no âmbito do tema radiação e protecção solar: estudo comparativo com alunos do 1º Cilo do Ensino Básico e respectivas mães.* (Dissertação de Mestrado). Bragança: Instituto Politécnico de Bragança. Recuperado de http://hdl.handle.net/10198/6154.

Rodríguez, M.A. & Niaz, M. (2002). How in spite of the rhetoric, History of Chemistry has been ignored in presenting atomic structure in textbooks. *Science & Education, 11*(5), 423-441. doi:10.1023/A:1016599623871.

Rowell, J.A. & Dawson, C.J. (1983). Laboratory counterexamples and the growth of understanding in science. *European Journal of Science Education, 5*(2), 203-215. doi:10.1080/0140528830050208.

Rumsey, D. (2011). Statistics for dummies (2nd ed.) Indiana, USA: Wiley Publishing Inc.

Sanger, M.J. & Greenbowe, T.J. (1999). An analysis of college chemistry textbooks as sources of misconceptions and errors in electrochemistry. *Journal of Chemical Education, 76*(6), 853-860. doi: 10.1021/ed076p853.

Santos, M.E. (1991a). Concepções alternativas dos alunos. In Oliveira, M. T. (ed.), Didáctica da Biologia, pp. 73-101. Lisboa: Universidade Aberta.

Santos, M.E. (1991b). Mudança conceptual na aprendizagem. In Oliveira, M. T. (ed.), Didáctica da Biologia, pp. 103-126. Lisboa: Universidade Aberta.

Santos, M.E. (1998). Mudança conceptual na sala de aula. Um desafio pedagógico epistemologicamente fundamentado (2ª ed., 1ª ed. de 1990). Lisboa: Livros Horizonte.

Santos, P.P. (2013). Química Orgânica (Vol. 2). Lisboa: IST Press.

Schmidt, H-J. (1995). Students' misconceptions- looking for a pattern. *Science Education, 81*(2), 123-135. doi: 10.1002/(SICI)1098-237X(199704).

Schmidt, H-J., Marohn, A. & Harrison, A.G. (2007). Factors that prevent learning in electrochemistry. *Journal of Research in Science Teaching, 44*(2), 258-283. doi: 10.1002/tea.20118.

Schmidt, D.L., Saigo, B.W. & Stepans, J.I. (2006). Conceptual Change Model: the CCM handbook. St. Cloud, Minnesota, USA: Saiwood Publications.

Schmidt, H-J. & Volke, D. (2003). Shift of meaning and students' alternative concepts. *International Journal of Science Education, 25*(11), 1409-1424. doi:10.1080/0950069022000038240.

Schofield, R.E. (1997). The enlightened Joseph Priestley. A study of his life and work from 1733 to 1773. Pennsylvania, USA: The Pennsylvania State University Press.

Schofield, R.E. (2004). The enlightened Joseph Priestley. A study of his life and work from 1773 to 1804. Pennsylvania, USA: The Pennsylvania State University Press.

Schug, K. (1975). The lion roars: rebuttals to "What is oxidation"? *Journal of Chemical Education, 52*(9), 602.

Schwartz, A.T. (2007). Book review of "The enlightened Joseph Priestley: A study of his live and work from 1773 to 1804" by Robert E. Schofield. *Journal of Chemical Education, 84*(7), 1110-1111. doi:10.1021/ed084p1110.2

Scott, P. (1987). The process of conceptual change in Science: a case study of the development of a secondary pupil's ideas relating to matter. In Novak, J.D. (Ed.), Misconceptions and educational strategies in science and mathematics (Vol. II, pp. 404-416). New York, USA: Procedings of the International Seminar, Cornell University. Recuperado da base de dados ERIC, ED 293684.

Sequeira, M. & Duarte, M. (1991). Student's alternative frameworks and teaching strategies: a pilot study. *European Journal of Teacher Education, 14* (1), 31-43. Recuperado de Leite, L. (2004). Metodologia do ensino das Ciências. Evolução e tendências nos últimos 25 anos (pp. 111-123). Braga: Universidade do Minho.

Sequeira, M. & Freitas, M. (1987). Children's alternative conceptions about mold and copper oxide. In Novak, J.D. (Ed.), Misconceptions and educational strategies in science and mathematics (Vol. I, pp. 413-423). New York, USA: Procedings of the International Seminar, Cornell University. Recuperado da base de dados ERIC, ED 293684.

Sequeira, M. & Leite, L. (1990). On relating macroscopic phenomena to microscopic particles at the junior high school level. In Lijnse, P. et al. (Eds.), Relating macroscopic phenomena to microscopic particles (pp. 220-232). Ultrecht, Nederland: CD-B Press. Recuperado de Leite, L. (2004). Metodologia do ensino das Ciências. Evolução e tendências nos últimos 25 anos (pp. 87-98). Braga: Universidade do Minho.

Sequeira, M., Leite, L. & Duarte, M. (1993). Portuguese science teachers' education, attitudes, and practice relative to the issue of alternative conceptions. *Journal of Research in Science Teaching, 30* (8), 845-856. Recuperado de Leite, L. (2004). Metodologia do ensino das Ciências. Evolução e tendências nos últimos 25 anos (pp. 137-148). Braga: Universidade do Minho.

Shibley, I.A., Amaral, K.E., Aurentz, D.J. & McCaully, R.J. (2010). Oxidation and reduction in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education, 87*(12), 1351-1354. doi:10.1021/ed100457z.

Silva, J.L., Gonçalves, J. & Poças, M.E. (2012). Metacognição e mudança conceptual: uma articulação promotora da aprendizagem da biologia. Artigo apresentado na X Jornadas Nacionales V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biologia, Córdoba, Argentina. Recuperado de http://hdl.handle.net/1822/20675.

Simões, T.S., Queirós, M.A. & Simões, M.O. (2004). Química em contexto. Física e Química A 11º ano. Guia do professor. Porto: Porto Editora.

Sisler, H.H. & VanderWerf, C. A. (1980). Oxidation-Reduction, an example of chemical sophistry. *Journal of Chemical Education, 57*(1), 42-44. doi:10.1021/ed057p42.

Soares, M.T. (2007). *A aprendizagem da acústica no Ensino Básico: uma pesquisa epistemológica e psicologicamente fundamentada* (Tese de Doutoramento). Lisboa, Universidade Aberta. Recuperado de http://hdl.handle.net/10400.2/766.

Solbes, J. & Traver, M. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la Física y la Química. *Enseñanza de las Ciencias, 14*(1), 103-112. Recuperado de http://ddd.uab.es/pub/edlc/02124521v14n1p103.pdf.

Solbes, J. & Traver, M. (2003). Against a negative image of science: History of Science and the teaching of Physics and Chemistry. *Science & Education, 12*(7), 703-717. doi:10.1023/A:1025660420721.

Soloveichik, S. (1962). The last fight for phlogiston and the death of Priestley. *Journal of Chemical Education, 39*(12), 644-646. doi:10.1021/ed039p644.

Sousa, D. & Guimarães, F. (2011). Germinação e crescimento de plantas: alguns contributos do 1º ciclo do Ensino Básico. CIEC- Universidade do Minho. Recuperado de http://hdl.handle.net/1822/15861.

Stavy, R. (1991). Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Teaching, 28(4),* 305-313. doi:10.1002/tea.3660280404.

Stepans, J. (1994). Targeting students' science misconceptions. Physical science activities using the conceptual change model. Florida, USA: Idea Factory Inc.

Strike, K.A. & Posner, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In Duschl, R.A. & Hamilton, R.J. (Eds.), Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice (pp.147-176). New York, USA: State University of New York Press.

Taber, K. (1998). An alternative conceptual framework from chemistry education. *International Journal of Science Education, 20*(5), 597-608. doi:10.1080/0950069980200507.

Taber, K. (2002a). Chemical misconceptions- prevention, diagnosis and cure. Volume I: theoretical background. London, UK: Royal Society of Chemistry.

Taber, K. (2002b). Chemical misconceptions- prevention, diagnosis and cure. Volume II: classroom resources. London, UK: Royal Society of Chemistry.

Taber, K. (2003). The atom in the chemistry curriculum: fundamental concept, teaching model or epistemological obstacle? *Foundations of Chemistry, 5*(1), 43-84. doi:10.1023/A:1021995612705.

Taber, K. (2005). Developing teachers as learning doctors. *Teacher Development, 9*(2), 219-235. doi:10.1080/13664530500200249

Taber, K. (2009a). Progressing science education. Constructing the scientific research programme into the contingent nature of learning science. London, UK: Springer-Verlag.

Taber, K. (2009b). Learning at the symbolic level. In Gilbert, J.K. & Treagust, D. (Eds.). Multiple representations in Chemical Education, pp. 75-108. International edition: Springer.

Taber, K. (2009c). Challenging misconceptions in Chemistry classroom: resources to support teachers. *Educación Química*, 4, 13-20. doi:10.2436/20.2003.02.27.

Taber, K. & Coll, R. (2002). Bonding. In Gilbert, J.K., De Jong, O. Justi, R., Treagust, D.F. & Van Driel, J.H. (Eds.), Chemical Education: towards research-based practice, pp. 213-234, New York, USA: Kluwer Academic Publishers.

Thagard, P. (1992). Conceptual revolutions. New Jersey, USA: Princeton University Press.

Thigs, G. & Berg, E. (1995). Cultural factors in the origin and remediation of alternative conceptions in physics. *Science & Education, 4* (4), 314-347. doi: 10.1007/BF00487756.

Toulmin, S. (1970). Does the distinction between normal and revolutionary science hold water? In Lakatos, I. & Musgrave, A. (Eds.). Criticism and the growth of knowledge. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Toulmin, S. (1972). Human understanding. The collective use and evolution of concepts (Vol. 1). Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press.

Treagust, D. (1986). Evaluating students' misconceptions by means of diagnostic multiple choice items. *Research in Science Education, 16*(1), 199-207. doi:10.1007/BF02356835.

Treagust, D. (2004). Trends in Science Education Research. In Ramadas, J. & Chunawala, S. (Eds.), Research trends in Science, Technology and Mathematics Education, pp. 125-146. epiSTEME-1, International conference to review research on Science, Technology and Mathematics Education, Goa, India: Homi Bhabha Centre for Science Education, Tata Institute of Fundamental Research.

Treagust, D. (2006). Diagnostic assessment in science as a means to improving teaching, learning and retention. UniServe Science Assessment Symposium Prodeedings. Recuperado de http://science.uniserve.edu.au/pubs/procs/2006 /treagust.pdf.

Treagust, D.F. & Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education, 3* (2), 297-328. doi: 10.1007/s11422-008-9090-4.

Treagust, D.F., Harrison, A.G. & Venville, G. (1996). Using an analogical teaching approach to engender conceptual change. *International Journal of Science Education, 18* (2), 213-229. doi: 10.1080/0950069960180206.

Trindade, J.F. (2011). A utilização de analogias no ensino da Física- um exemplo para circuitos elétricos. In Reis, C.S. & Neves, F.S. (Eds.), XI Congresso da Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação, Livro de Actas, Vol.3, pp.215-221. Guarda, Portugal: Instituto Politécnico da Guarda.

Valadares, J. (1995). *Concepções alternativas no ensino da Física à luz da Filosofia da Ciência*. (Tese de Doutoramento). Lisboa: Universidade Aberta.

Valadares, J.A. & Moreira, M.A. (2009). A teoria da aprendizagem significativa. Sua fundamentação e implementação. Coimbra: Edições Almedina.

Vanderwerf, C.A. (1945). Balancing oxidation-reduction equations in organic chemistry. *Journal of Chemical Education, 22*(5), 218-220. doi: 10.1021/ed022p218.

Vanderwerf, C. A., Davidson, A. W. & Sisler, H. H. (1945). Oxidation-reduction: a re-evaluation, *Journal of Chemical Education, 22*(9), 450-456. doi:10.1021/ed022p450.

Venville, G.J. & Treagust, D.F. (1996). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Science, 24*(4), 295-320. doi:10.1007/BF00118053.

Vollhardt, P. & Schore, N. (2011). Organic Chemistry. Structure and function (6th edition). New York, USA: Freeman and Company.

Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction, 4* (1), 45-69. doi: 10.1016/0959-4752(94)90018-3.

Vosniadou, S. (2012). Reframing the classical approach to conceptual change: preconceptions, misconceptions and synthetic models. In Frase, B.J. & Tobin, K.G. (Eds). Second international handbook of science education (pp. 119-130). London, New York: Springer.

Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology, 24*(4), 535-585. doi:10.1016/0010-0285(92)90018-W.

Vosniadou, S. & Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education, 20* (10), 1213-1230. doi: 10.1080/0950069980201004.

Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A. & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and instruction, 11* (4-5), 381-419. doi: 10.1016/S0959-4752(00)00038-4.

Wallace, J.D. & Mintzes, J.J. (1990). The concept map as a research tool: exploring conceptual change in biology. *Journal of Research in Science Teaching, 27*(10), 1033-1052. doi:10.1002/tea.3660271010.

Wandersee, J.H. (1985). Can the History of Science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching, 23*(7), 581-597. doi:10.1002/tea.3660230703.

Wandersee, J.H., Mintzes, J.J. & Novak, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In Gabel, D.L. (Ed.). Handbook of research on science teaching and learning. A project of the National Science Teachers Association. (pp. 177-210). New York, USA: Macmillan.

Yager, R.E. (1993). The constructivist learning model towards real reform in science education. *The Science Teacher, 60*(1), 53-57. Recuperado de http://castle.eiu/~scienced/5660/gotta/G-4_R-3.html

Zembylas, M. (2005). Three perspectives on linking the cognitive and emotional in science learning: conceptual change, socio-constructivism and poststructuralism. *Studies in Science Education, 41* (1), 91-116. doi:10.1080/03057260508560215.

Zimmerman, B.J. & Blom, D.E. (1983). Toward an empirical test of the role of cognitive conflict in learning. *Developmental Review, 3*(1), 18-38. Doi: 10.1016/0273-2297(83)90005-9.

Apêndice A

Versões 1, 2 e 3 do questionário

Versão 1 do questionário

Questionário

Com as tuas respostas a este questionário vais dar um contributo valioso para uma investigação relacionada com o ensino das reações de oxidação-redução. Por conseguinte, é importante que respondas a todas as questões com sinceridade e de acordo com o que sabes sobre o tema. As tuas respostas serão tratadas de uma forma anónima e confidencial. Obrigado pela tua colaboração.

Escola Secundária de X

Turma: Curso Profissional de Técnico de Análise Laboratorial

Nome: _____Idade: _____ Sexo. _____

Data- 27 de Abril de 2012

1- Considera a reação química em que o magnésio sofre oxidação:

$$2\,Mg_{(s)} + \ O_{2(g)} \ \rightarrow 2\,MgO_{(s)}$$

Ordena as afirmações (de 1 a 3) de acordo com a tua preferência para a explicação da oxidação do Magnésio (*1* para a explicação que mais preferires e *3* para a que menos preferires).

___ O magnésio é oxidado porque cede eletrões.

___ O magnésio é oxidado porque capta oxigénio

___ O magnésio é oxidado porque o seu número de oxidação aumenta.

2- Ainda em relação à reação da questão anterior, classifica as seguintes afirmações de V (verdadeiro) ou F (falso):

___ Primeiro ocorre a oxidação do magnésio e só depois ocorre a redução do oxigénio gasoso.

___ O reagente da reação, oxida-se e, logo de seguida, o produto da reação, reduz-se.

___ A oxidação do magnésio e a redução do oxigénio ocorrem em simultâneo.

3- A reacção química representada pela equação

$$2\,Na_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightleftarrows 2\,NaCl_{(s)}$$

representa uma reação de oxidação-redução? Justifica a tua resposta.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

4- Qual é o número de oxidação do carbono no ião carbonato, CO_3^{2-} ?

□ + 3 □ + 4 □ + 1 □ - 2

Justifica a tua resposta.

_____

_____

_____

5- A transformação química em meio aquoso traduzida pelo esquema:

$$CO_{3(aq)}^{2-} + 2H_{(aq)}^{+} \rightleftarrows H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

Representa uma reação de:

___ Redução porque o ião carbonato cede um átomo de oxigénio e transforma-se em dióxido de carbono.

___ Oxidação porque o ião carbonato cedeu dois eletrões.

___ A reação representada não é uma reação de oxidação-redução.

6- Considera a reação de oxidação-redução e responde às seguintes questões:

$$Fe_{(s)} + Cu_{(aq)}^{2+} \rightleftarrows Fe_{(aq)}^{2+} + Cu_{(s)}$$

a) Para a reação global representada, seleciona (com um X) a única afirmação que é verdadeira:

___ O ferro é oxidante porque sofre oxidação.

___ O ferro é oxidante porque sofre redução.

___ O ião cobre é oxidante porque sofre redução

b) A equação da semirreação de oxidação no sentido direto é: (assinalar com *X*)

□ $Cu_{(aq)}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(s)}$

□ $Fe_{(s)} \rightarrow Fe_{(aq)}^{2+} + 2e^{-}$

□ $Cu_{(s)} \rightarrow Cu_{(aq)}^{2+} + 2e^{-}$

□ $Fe_{(s)} + 2e^{-} \rightarrow Fe_{(aq)}^{2+}$

Justifica a tua resposta._____

Muito obrigado pela tua colaboração

Versão 2 do questionário

Questionário

Com as tuas respostas a este questionário vais dar um contributo valioso para uma investigação relacionada com o ensino das reações de oxidação-redução. Por conseguinte, é importante que respondas a todas as questões com sinceridade e de acordo com o que sabes sobre o tema. As tuas respostas serão tratadas de uma forma anónima e confidencial. Obrigado pela tua colaboração.

Escola Secundária de X

Turma: Curso Profissional de Técnico de Análise Laboratorial

Nome: _____Idade: _____ Sexo. _____

Data- 9 de Maio de 2012

1- Considera a reação química em que o magnésio sofre oxidação:

$$2\,Mg_{(s)} + \ O_{2(g)} \ \rightarrow 2\,MgO_{(s)}$$

Ordena as afirmações (de 1 a 3) de acordo com a tua preferência para a explicação da oxidação do Magnésio (*1* para a explicação que mais preferires e *3* para a que menos preferires).

___ O magnésio é oxidado porque cede eletrões.

___ O magnésio é oxidado porque capta oxigénio

___ O magnésio é oxidado porque o seu número de oxidação aumenta.

2- Ainda em relação à reação da questão anterior, classifica as seguintes afirmações de V (verdadeiro) ou F (falso):

___ Primeiro ocorre a oxidação do magnésio e só depois ocorre a redução do oxigénio gasoso.

___ O reagente da reação, oxida-se e, logo de seguida, o produto da reação, reduz-se.

___ A oxidação do magnésio e a redução do oxigénio ocorrem em simultâneo.

3- A reacção química representada pela equação

$$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftarrows 2\,HCl_{(g)}$$

representa uma reação de oxidação-redução? Justifica a tua resposta.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

4- Qual é o número de oxidação do carbono no ião carbonato, CO_3^{2-} ?

Justifica a tua resposta. Se efetuares algum cálculo, apresenta-o.

_____

_____

_____

_____

5- A transformação química em meio aquoso traduzida pelo esquema:

$$CO_{3(aq)}^{2-} + 2H_{(aq)}^{+} \rightleftarrows H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

Representa uma reação de: (classifica as seguintes afirmações de *Verdadeiro* ou *Falso*)

___ Redução porque o ião carbonato cede um átomo de oxigénio e transforma-se em dióxido de carbono.

___ Oxidação porque o ião carbonato cedeu dois eletrões.

___ A reação representada não é uma reação de oxidação-redução.

6- Considera a reação de oxidação-redução e responde às seguintes questões:

$$Fe_{(s)} + Cu_{(aq)}^{2+} \rightleftarrows Fe_{(aq)}^{2+} + Cu_{(s)}$$

a) Para a reação global representada, seleciona (com um *X*) a única afirmação que é verdadeira:

___ O ferro é oxidante porque sofre oxidação.

___ O ferro é oxidante porque sofre redução.

___ O ião cobre é oxidante porque sofre redução

Justifica a tua resposta:

_____

_____

_____

_____

b) A equação da semirreação de oxidação no sentido direto é: (assinalar com *X*)

□ $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

□ $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

□ $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

□ $Fe_{(s)} + 2e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$

Justifica a tua resposta.

_____

_____

_____

Muito obrigado pela tua colaboração

Versão 3 do questionário: pré e pós-teste

Questionário

Com as tuas respostas a este questionário vais dar um contributo valioso para uma investigação relacionada com o ensino das reações de oxidação-redução. Por conseguinte, é importante que respondas a todas as questões com sinceridade e de acordo com o que sabes sobre o tema. As tuas respostas serão tratadas de uma forma anónima e confidencial. Obrigado pela tua colaboração.

Escola Secundária de X

Turma: Curso Profissional de Técnico de Análise Laboratorial

Nome: _____Idade: _____ Sexo. _____

Data- 17 Maio de 2012

1- Considera a reação química em que o magnésio sofre oxidação:

$$2\,Mg_{(s)} + \ O_{2(g)} \ \rightarrow 2\,MgO_{(s)}$$

Ordena as afirmações (de 1 a 3) de acordo com a tua preferência para a explicação da oxidação do Magnésio (*1* para a explicação que mais preferires e *3* para a que menos preferires).

___ O magnésio é oxidado porque cede eletrões.

___ O magnésio é oxidado porque capta oxigénio

___ O magnésio é oxidado porque o seu número de oxidação aumenta.

2- Ainda em relação à reação da questão anterior, classifica as seguintes afirmações de V (verdadeiro) ou F (falso):

___ Primeiro ocorre a oxidação do magnésio e só depois ocorre a redução do oxigénio gasoso.

___ O reagente da reação oxida-se e, logo de seguida, o produto da reação reduz-se.

___ A oxidação do magnésio e a redução do oxigénio ocorrem em simultâneo.

3- A reação química representada pela equação

$$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftarrows 2\,HCl_{(g)}$$

representa uma reação de oxidação-redução? Justifica a tua resposta.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

4- Qual é o número de oxidação do Fósforo (P) no ião fosfato, PO_4^{3-} ?

Justifica a tua resposta. Se efetuares algum cálculo, apresenta-o.

_____

_____

_____

_____

5- A transformação química em meio aquoso traduzida pelo esquema:

$$CO_{3(aq)}^{2-} + 2H_{(aq)}^{+} \rightleftarrows H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

Representa uma reação de: (classifica as seguintes afirmações de *Verdadeiro* ou *Falso*)

___ Redução porque o ião carbonato cede um átomo de oxigénio e transforma-se em dióxido de carbono.

___ Oxidação porque o ião carbonato cedeu dois eletrões.

___ A reação representada não é uma reação de oxidação-redução.

6- Considera a reação de oxidação-redução e responde às seguintes questões:

$$Fe_{(s)} + Cu_{(aq)}^{2+} \rightleftarrows Fe_{(aq)}^{2+} + Cu_{(s)}$$

a) Para a reação global representada, seleciona (com um *X*) a única afirmação que é verdadeira:

___ O ferro é oxidante porque sofre oxidação.

___ O ferro é oxidante porque sofre redução.

___ O ião cobre é oxidante porque sofre redução

Justifica a tua resposta:

_____

_____

_____

_____

b) A equação da semirreação de oxidação no sentido direto é: (assinalar com *X*)

□ $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

□ $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

□ $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

□ $Fe_{(s)} + 2e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$

Justifica a tua resposta.

_____

_____

_____

Muito obrigado pela tua colaboração

Apêndice B

Atividade introdutória

Revisão sobre as ligações químicas

Nas duas próximas aulas (de 135minutos) vamos revisitar as reações de oxidação-redução. Mas antes disso, temos de relembrar as ligações químicas que já estudaste no 9º e 10º anos e que precisamos para o estudo daquelas reações.

1- Ligação covalente

A ligação entre os átomos nas moléculas faz-se por partilha de eletrões. Quando os átomos partilham eletrões, ficam com o número máximo de eletrões de valência tornando-se assim mais estáveis.

Lembras-te qual é esse número máximo de eletrões de valência a que corresponde o máximo de estabilidade de um átomo? Uma consulta à tabela periódica poderá ajudar caso não te lembres.

Sempre que se ligam dois átomos do mesmo elemento com tendência para captar eletrões, há partilha de eletrões- a ligação é covalente.

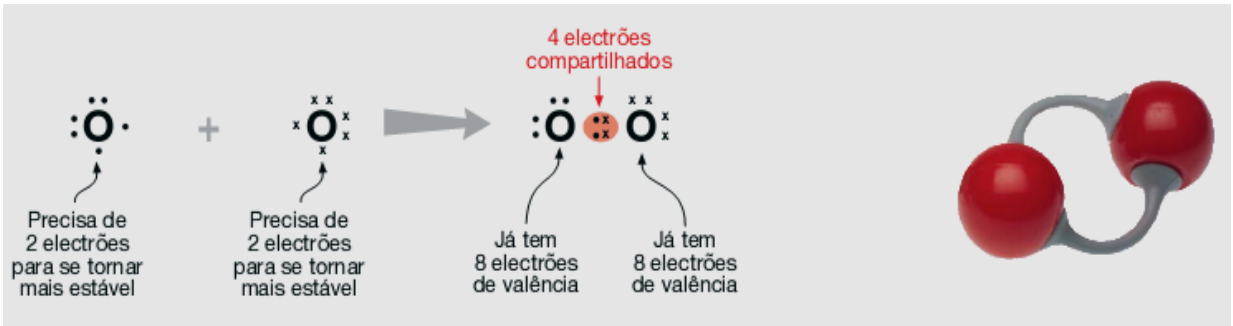


Figura 1. Formação de uma ligação covalente dupla

Quando se ligam dois átomos de elementos diferentes, ambos com tendência para captar eletrões, há também partilha de eletrões- a ligação é covalente. Mas desta vez, a partilha de eletrões é desigual; o átomo com maior carga nuclear exerce uma maior força de atração sobre os eletrões partilhados que ficam mais próximos do núcleo desse átomo. Dizemos que estamos perante uma ligação covalente polar.

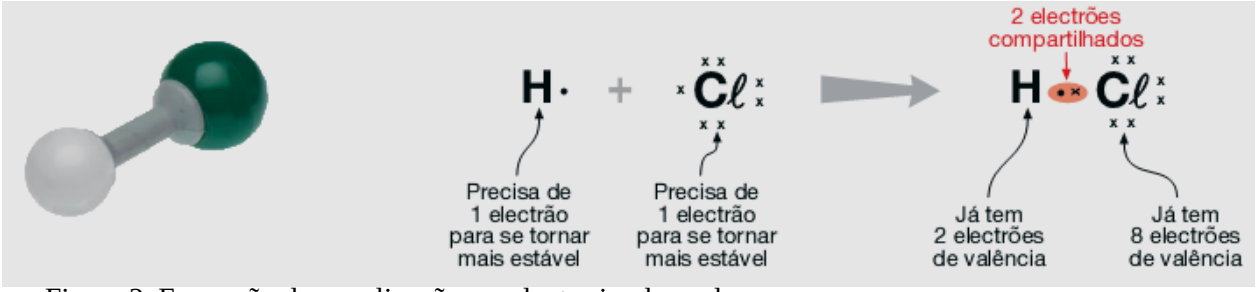


Figura 2. Formação de uma ligação covalente simples polar

Questão 1

É importante para esta atividade, explicitarmos o significado de algumas palavras que vamos usar. Observa os vários significados da palavra "partilha" que constam de dicionários.

1- Dividir em várias partes;
2- Repartir;
3- Porção que toca a cada um;
4- Possuir com outros;
5- Ter em comum

(Dicionário Enciclopédico Koogan Larousse Seleções, 1980 e Dicionário Integral da Língua Portuguesa, Texto, 2009)

Discute com os teus colegas, sobre qual ou quais dos 5 significados mencionados em cima te parece mais adequado para descrever a situação de "partilha" de eletrões entre dois átomos numa ligação covalente? Justifica a tua resposta.

_____

_____

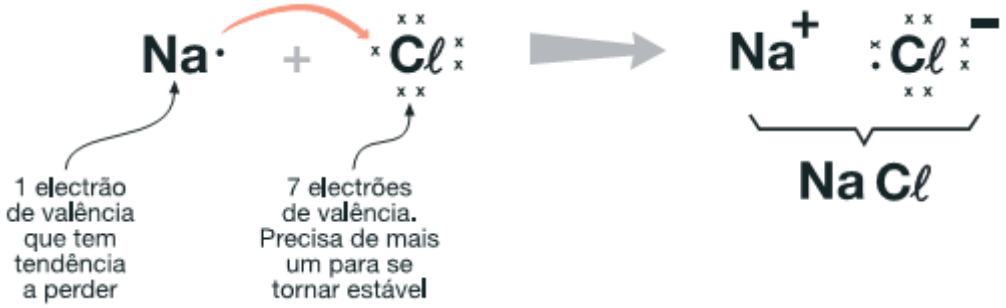
_____

2- Ligação iónica

Quando se ligam átomos de elementos diferentes mas um tem tendência para captar eletrões e outro tem tendência para ceder eletrões, não há partilha de eletrões.
Os átomos do elemento com tendência para ceder eletrões transformam-se em iões positivos. Os átomos do elemento com tendência para captar eletrões transformam-se em iões negativos.

Os iões negativos e positivos atraem-se mutuamente. A força atrativa entre iões positivos e iões negativos chama-se ligação iónica.

Exemplo: Ligação entre o Sódio e o Cloro no Cloreto de Sódio



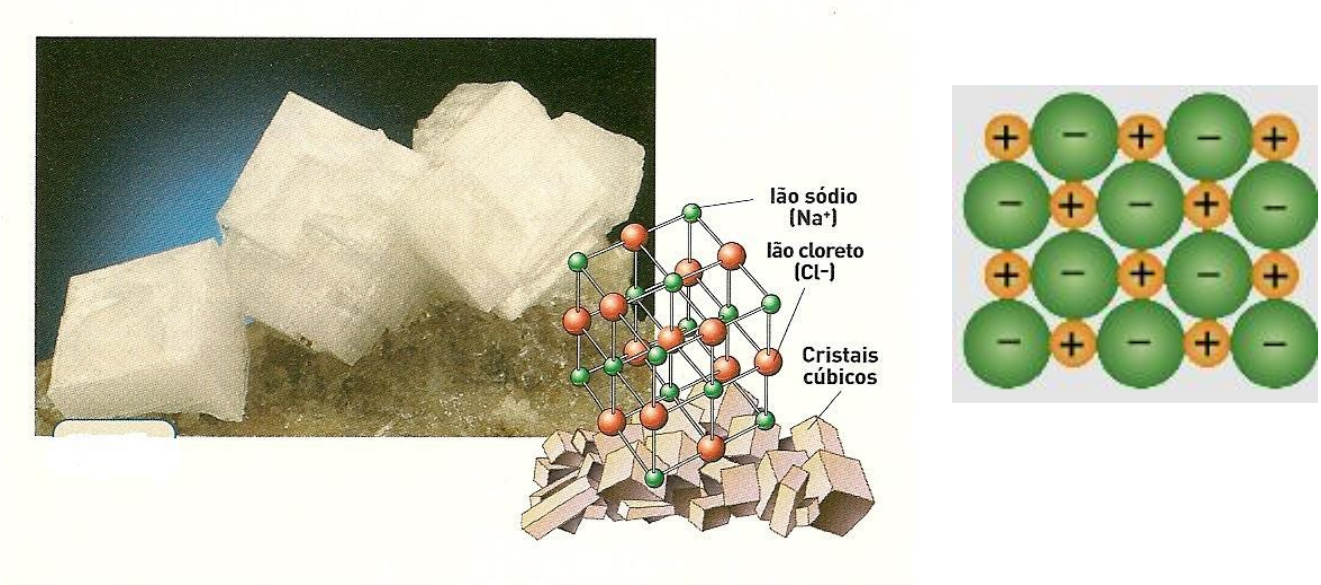


Figura 3. Cristais de Cloreto de Sódio e a sua rede cristalina

3- Ligação metálica

Nos metais, os átomos dos elementos metálicos encontram-se dispostos num arranjo muito ordenado. Como os átomos de um metal são iguais e estão próximos uns dos outros, os eletrões do último nível de energia, que têm grande mobilidade, são atraídos também pelos núcleos dos átomos vizinhos, podendo assim "vaguear" no metal.

É este "mar" de eletrões que, atraído pelos iões positivos regularmente dispostos, cria as forças de ligação- a ligação metálica.

Este modelo de ligação metálica é conhecido por modelo do "mar de eletrões livres".

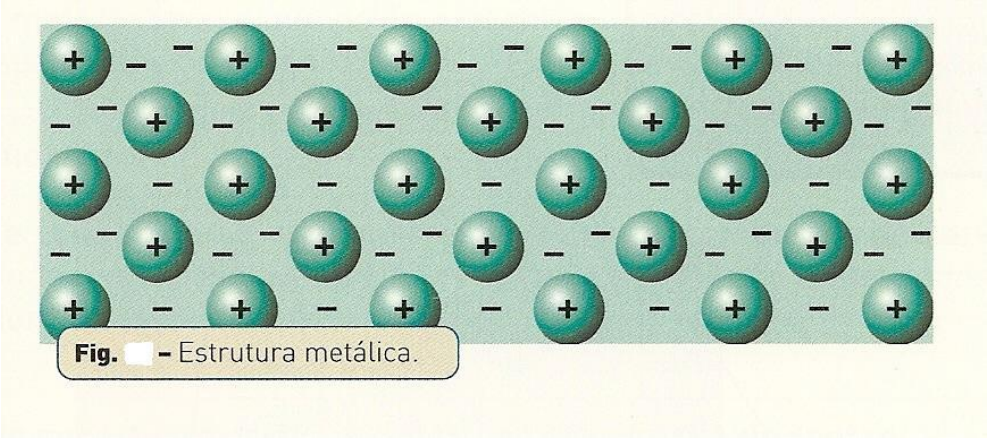


Fig. – Estrutura metálica.

A Tabela Periódica ajuda-nos a prever o tipo de ligação química que se pode formar entre átomos de diferentes elementos.

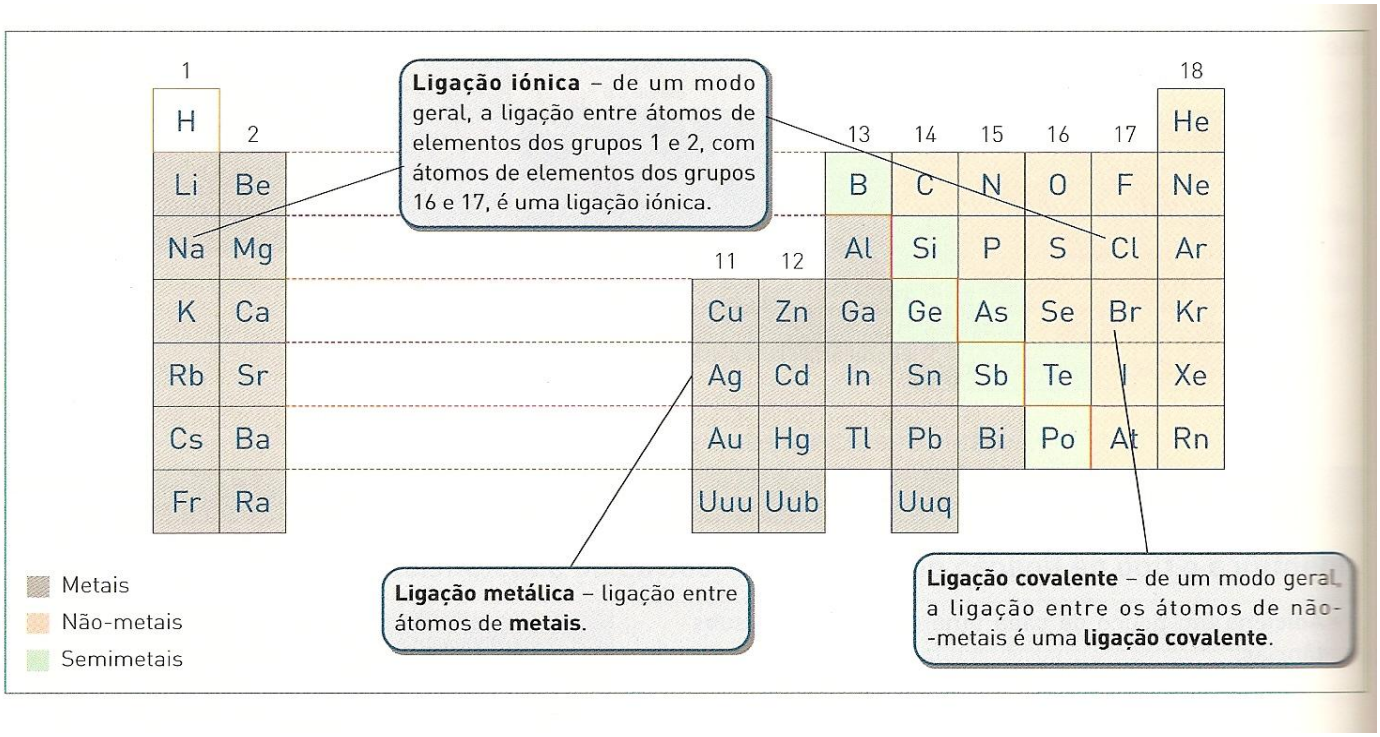


Figura 5. Relação entre o tipo de ligações formadas e a localização dos elementos na tabela periódica

Questão 2:

Em grupo, com os teus colegas, identifica as ligações químicas existentes nas seguintes substâncias:

a) Nitrato de Prata, $AgNO_3$: _____

b) Água, H_2O : _____

c) Cobre, Cu (em fio): _____

d) Magnésio, Mg (em fita): _____

e) Álcool Etílico ou etanol, C_2H_5OH : _____

f) Dicromato de Potássio, $K_2Cr_2O_7$: _____

g) Óxido de Magnésio, MgO : _____

Questão 3:

Em conjunto com todos os teus colegas e com o professor, vamos construir um mapa de conceitos para resumir e consolidar a revisão sobre Ligações químicas. Para tal vamos formar um diagrama, ordenando os termos que se seguem segundo uma sequência lógica. Vamos usar palavras de ligação entre estes termos para facilitar a leitura do diagrama:

Partilha de eletrões	Elementos metálicos	Ligação Iónica
Moléculas	Iões negativos	Ligações químicas
Atração eletrostática	Ligação covalente	Eletrões livres
Iões positivos	Ligação metálica	Compostos Iónicos ou Sais
Átomos		

Apêndice C

Atividades: parte 1 e parte 2

Nome: _____

Idade: _____

AS REAÇÕES DE OXIDAÇÃO-REDUÇÃO REVISITADAS

PARTE 1

Vamos agora revisitar os conceitos de oxidação e de redução.

Atividade: Compromisso com uma posição. Expor e confrontar opiniões.

1- Vais escrever o que entendes por "reação de oxidação-redução":

_____

_____

_____

2- Lê em voz alta o que escreveste e ouve também o que os teus colegas escreveram.

3- Confronta e compara a tua opinião com a dos teus colegas.

4- Há alguma resposta de um colega teu com a qual não concordes? Se sim, qual e por que não concordas?

_____

_____

_____

_____

5- Depois de ouvires as respostas dos teus colegas, há alguma que aches que esteja mais acertada do que a tua? Se sim, qual e porquê?

_____

_____

_____

_____

Para revisitarmos os conceitos de oxidação e de redução vamos analisar a sua evolução histórica e os modelos científicos que os explicam. Um modelo em ciência refere-se ao conjunto de teorias, métodos e técnicas que explicam determinado fenómeno e que é maioritariamente aceite pelos cientistas num determinado período de tempo em que esse modelo está em vigor.

As reações de oxidação-redução são interpretadas por três modelos em que o primeiro foi estabelecido por Lavoisier no século XVIII.

Modelo do Oxigénio (1774)

Lê os seguintes textos:

Texto 1:

Antoine Laurent de **Lavoisier** (1743-1794) foi um químico francês e é considerado o pai da Química moderna.

Identificou e atribuiu o nome ao Oxigénio, refutou a teoria do flogisto e participou na reforma da nomenclatura química. Ficou também célebre pelo princípio da conservação da matéria, também conhecido pela lei identificada pelo seu nome (Lei de Lavoisier) e imortalizada pela frase popular: "Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma".

Conotado com o Antigo Regime, foi preso durante a Revolução Francesa, condenado à morte e guilhotinado a 8 de Maio de 1794.

Fonte: Wikipédia, adaptado. Acesso a 19-5-2012

Texto 2:

Os primeiros passos para uma explicação das reações químicas foram dados por Stahl, químico alemão, que em 1697 propôs a teoria do flogístico ou flogisto. As reações de combustão e as suas implicações na metalurgia deram o mote para essa teoria.

Segundo Stahl, para que uma substância arda deve conter uma substância inflamável chamada "flogisto" que se perderia para o ar durante a combustão. Esta ideia explicava muitos fenómenos. Por exemplo, substâncias não combustíveis (sais) têm pouco flogisto enquanto aquelas que ardem facilmente têm muito flogisto. O enferrujamento do ferro ocorre porque o ferro perde o seu flogisto para o ar e o ferro enferrujado pode ser convertido a ferro metálico por adição de mais flogisto na forma de carvão (com aquecimento).

Nas últimas décadas do século XVIII, Lavoisier concluiu que, após a combustão, há sempre um aumento de massa causado pela reação da substância combustível com um gás reativo no ar a que chamou de Oxigénio. Lavoisier usou o termo "oxidação" para descrever a combinação química de uma substância com o Oxigénio e a palavra "redução" para descrever uma reação química em que o Oxigénio é removido de uma substância.

Texto 3

"Posso afirmar a partir das minhas próprias experiências que durante a combustão, o enxofre absorve ar; que [a substância] formada é muito mais pesada do que o enxofre; que o seu peso é igual ao peso do enxofre e do oxigénio absorvido.

Esta descoberta, que estabeleci através de experiências que considero decisivas, fez-me pensar que o que é observado na combustão do enxofre e do fósforo pode ocorrer em todos os corpos que ganham peso por combustão e calcinação, e estou convencido que o aumento de peso nos metais calcinados tem a mesma causa. A experimentação confirmou as minhas conjeturas. Realizei a redução do Litargírio [Óxido de Chumbo] em vasos fechados (…) e observei que no momento em que o calcinado [o óxido] passa a metal, uma quantidade considerável de ar, pelo menos mil vezes maior que a quantidade de Litargírio utilizado, foi libertado. Esta parece-me a descoberta mais interessante desde o tempo de Stahl."

Lavoisier citado por Partington, A History of Chemistry, 1961, p.385

6- Como eram interpretadas as reações de combustão de acordo com a teoria do flogisto de Stahl?

_____

_____

_____

7- Quais as observações e experiências que levaram Lavoisier a refutar a teoria do flogisto?

_____

_____

_____

_____

8- Vamos representar os modelos de interpretação das reações de oxidação-redução por "círculos". Dentro do círculo que representa o modelo do oxigénio vais definir o que é a oxidação e a redução de acordo com este modelo

Lavoisier (1743-1794)

Modelo do oxigénio (1774)

Oxidação é: _____

Redução é: _____

Atividade experimental nº 1

Combustão do Magnésio

Material necessário:

Fita de magnésio

Alicate ou outro instrumento de corte

Tina de vidro ou tabuleiro de metal

Lamparina de álcool ou isqueiro

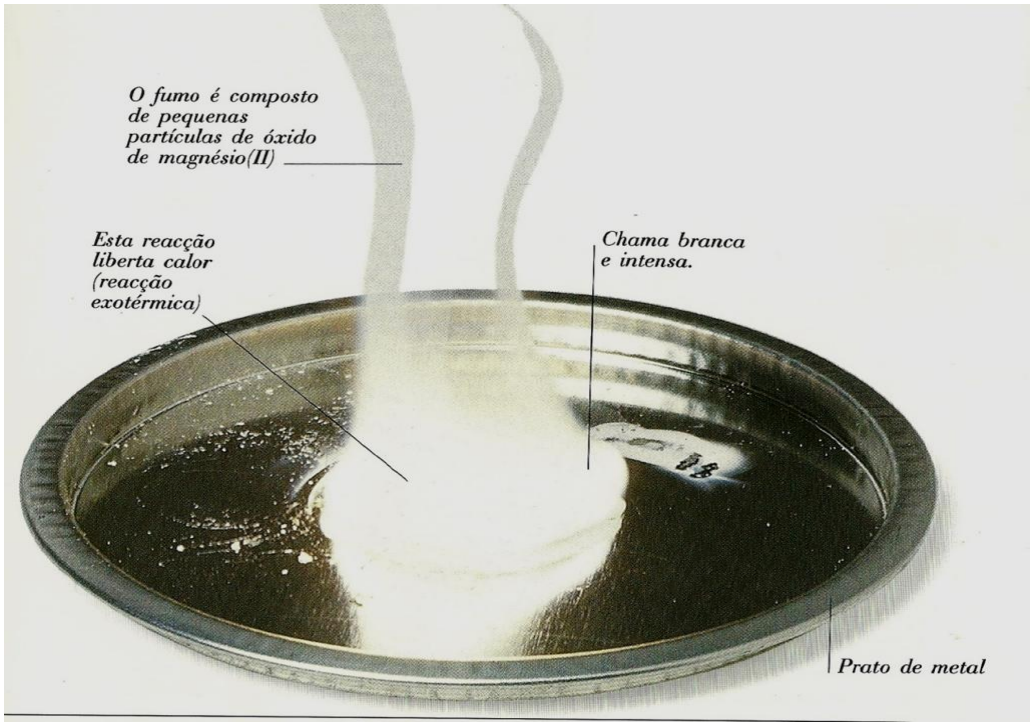
Pinça

Procedimento:

1- Corta uma tira de fita de Magnésio.

2- Observa a cor da fita. Se estiver muito oxidada, faz um desgaste com lixa até ficar com cor metálica.

3- Segura a fita numa ponta com a pinça e lança à chama a outra ponta. Deixa cair o resíduo calcinado para uma tina ou tabuleiro.



9- Explica o que ocorreu durante esta reação química de acordo com o modelo do oxigénio de Lavoisier:

_____

_____

_____

10- Escreve a equação química que representa esta reação:

_____

Modelo de transferência de eletrões (1903)

Lê os seguintes textos:

Texto 4:

Em 1897 ocorreu uma grande descoberta quando Thomson distinguiu pequenas partículas subatómicas carregadas negativamente que emanavam de um tubo contendo gases submetidos a descargas elétricas de grande voltagem. Thomson atribuiu o nome de *eletrões* a essas partículas subatómicas.

No início do século XX, todas as reações de oxidação que, até, então eram explicadas como captação de oxigénio, pareciam ter algo em comum: envolviam a cedência de eletrões.

A seguir à descoberta do eletrão, Ostwald foi o primeiro, em 1903, a aplicar o conceito de transferência de eletrões às reações de oxidação-redução: uma reação de oxidação ocorre sempre por um processo de cedência de eletrões e uma reação de redução, ocorre sempre por um processo de captação de eletrões. Esta foi uma grande mudança já que, juntamente com o desenvolvimento da teoria da valência, permitiu que todas as reações que envolvessem transferência de eletrões fossem classificadas como reações de oxidação-redução como, por exemplo, as reações que ocorriam nas pilhas e envolviam compostos iónicos.

Texto 5:

Wilhem Ostwald (1853- 1932), foi um químico e filósofo alemão. Recebeu o prémio Nobel da Química em 1909 pelas suas pesquisas sobre a catálise, princípios fundamentais que governam os equilíbrios químicos e a velocidade das reações. Formulou a lei que tem o seu nome e que rege os fenómenos da dissociação dos eletrólitos. Em 1900 descobriu o processo de preparação do ácido nítrico a partir da oxidação do amoníaco, facilitando a produção em massa de fertilizantes e explosivos para a Alemanha durante a I Guerra Mundial. Propôs uma nova teoria da cor, defendendo a normalização das cores.

Fonte: wikipédia, acesso a 19-5-2012

11- De acordo com o Dicionário Integral da Língua Portuguesa (2009), transferência significa "ato ou efeito de transferir, mudar; passagem de um lugar para outro; deslocação; transladação". Tendo por base esta definição, clarifica a noção de *transferência de eletrões* entre duas entidades químicas.

_____

_____

_____

_____

12- "O modelo do oxigénio tornou-se insuficiente para explicar as reações de oxidação-redução". Justifica esta afirmação explicitando a necessidade de um novo modelo de interpretação das reações de oxidação-redução.

_____

_____

_____

_____

_____

13- Volta a escrever a reação de oxidação do magnésio. Interpreta esta reação de acordo com o modelo de transferência de eletrões.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

14- Voltando a representar os modelos de interpretação das reações de oxidação-redução por círculos, completa a figura seguinte com as definições de oxidação e de redução de acordo com o modelo da transferência de eletrões.

Ostwald (1853-1932)

Modelo de transferência de eletrões (1903)

Oxidação é:_____

Redução é: _____

Modelo do oxigénio (1774)

15- Por que razão estamos a colocar o "círculo" do modelo do oxigénio "dentro" do círculo do Modelo de transferência de eletrões?

_____

_____

_____

_____

Atividade experimental nº 2

"Árvore" de cobre

Material necessário:

Fio de cobre

Solução de Nitrato de Prata 0,1 mol/dm^3 (**Atenção!!** Deves usar luvas)

Gobele de vidro

Alicate

Procedimento:

1- Corta o fio de cobre e constrói uma árvore semelhante à figura em baixo.

2- Coloca a árvore de cobre dentro do gobele.

3- Enche o gobele com solução de Nitrato de Prata e observa o que acontece.

Figura retirada de "Dicionário visual da Química" por J. Challoner, 1998, p.33, Lisboa: Editorial Verbo.

Questionário (para responderes em diálogo com os teus colegas e o professor)

16- Conseguirás explicar o que aconteceu nesta reação química usando o modelo do oxigénio? Justifica

_____

_____

17- Por que razão a solução mudou de cor durante a reação química?

_____

_____

18- Formou-se sobre a árvore de cobre, uma camada espessa de cristais pontiagudos. Tenta explicar a origem desses cristais: como apareceram, de onde vêm, são constituídos por que substância?

_____

_____

_____

19- Escreve a reação química global que ocorreu e explica-a de acordo com o modelo da transferência de eletrões

20- Escreve a reação correspondente apenas à oxidação:

21- Escreve a reação correspondente apenas à redução:

FIM DA 1ª PARTE

Nome: _____

Idade: _____

AS REAÇÕES DE OXIDAÇÃO-REDUÇÃO REVISITADAS
PARTE 2

Modelo do número de oxidação (1939)

Lê os seguintes textos:

Texto 1:

Linus Carl **Pauling** (1901-1994), cientista norte-americano, é reconhecido como um dos principais químicos do século XX.

Entre os seus muitos contributos, destaca-se como um dos mais importantes, o estudo das ligações químicas, acerca das quais publicou, em 1939, um livro que viria a ficar famoso: *The nature of the chemical bond*. "Pelas suas investigações sobre a natureza da ligação química e sua aplicação para a elucidação da estrutura de substâncias complexas", Pauling foi galardoado com o Prémio Nobel da Química em 1954.

Pelo seu ativismo político e campanha contra os testes nucleares e proliferação das armas nucleares, foi também galardoado com o Nobel da Paz em 1962.

Fonte: Wikipédia & The Official Web Site of the Nobel Prize, adaptado.

Acesso a 19-5-2012

Texto 2:

O modelo da transferência de eletrões mantém-se, até à atualidade, como a forma mais popular de explicar as reações de oxidação-redução. Contudo, o modelo apresenta fragilidades quando aplicado aos compostos, covalentes em que não existe transferência de eletrões, mas sim partilha.

Para colmatar esta limitação surgiu um novo modelo aplicável a todos os compostos químicos, qualquer que seja a natureza da ligação química entre os seus átomos constituintes: o modelo do número de oxidação.

O *número de oxidação* é um conceito que vem desde os primeiros anos do século XX. Embora inicialmente denominado *número de valência*, foi aplicado por Pauling às reações de oxidação-redução nos anos 40 daquele século.

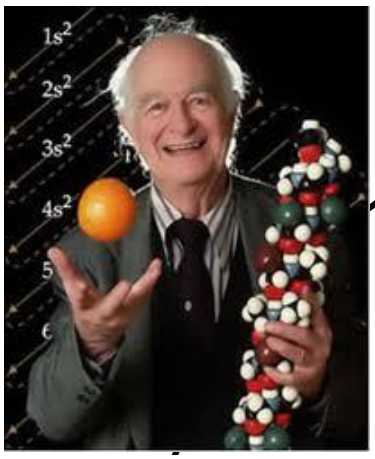
Pauling definiu o número de oxidação de um átomo como "um número que representa a carga elétrica que o átomo teria se os eletrões num composto fossem atribuídos a esse átomo de uma forma convencional"[4]. A "forma convencional" a que Pauling se refere é a transferência de eletrões (se ocorresse), pelo que o número de oxidação seria igual à carga do ião formado.

Da aplicação deste conceito às reações de oxidação-redução, estabeleceu-se que: o aumento no número de oxidação de um elemento corresponde à oxidação e a uma diminuição do número de oxidação de um elemento corresponde à redução.

Este método de usar números de oxidação para definir a oxidação e redução não envolve nenhum mecanismo de cedência ou captação de eletrões nem de matéria, como o oxigénio. Apresenta-se como um formalismo matemático, generalizado a todos os compostos, independentemente do tipo de ligações químicas neles existentes.

[4] Pauling, 1970, General Chemistry 3ª edição, p. 198. 1ª edição de 1947.

1- Voltando a representar os modelos de interpretação das reações de oxidação-redução por círculos, completa a figura seguinte com as definições de oxidação e de redução de acordo com o modelo do número de oxidação.



Pauling (1901-1994)

modelo do número de oxidação (1939)

Oxidação é:_____

Redução é: _____

modelo de transferência de eletrões (1903)

modelo do oxigénio (1774)

2- Quais são as limitações do modelo de transferência de eletrões e que levaram à adoção do modelo do número de oxidação, mais geral?

_____

_____

_____

_____

3- Por que razão estamos a colocar o "círculo" do modelo da transferência de eletrões e do modelo do oxigénio "dentro" do círculo que representa o modelo do número de oxidação?

_____

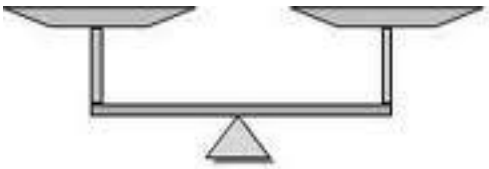
_____

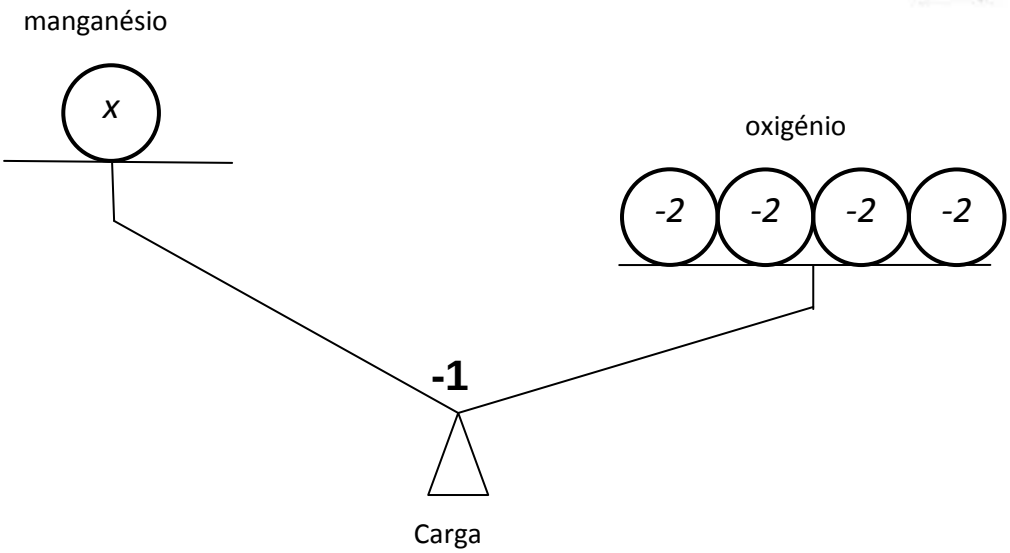
_____

_____

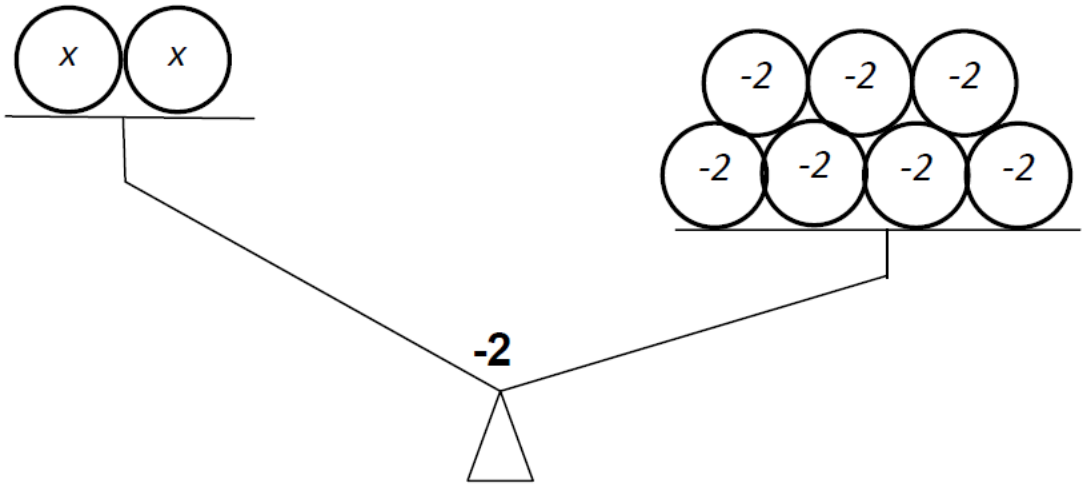
4- Determina o número de oxidação do manganésio e do crómio, representados por x, nos iões indicados em baixo usando uma analogia com a balança. Nota que a balança não é equilibrada.

Ião permanganato MnO_4^-





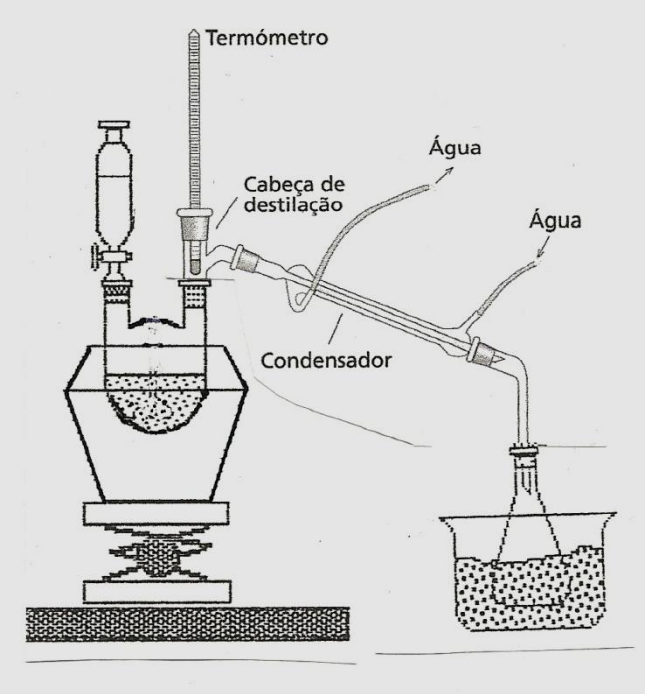
Ião dicromato $Cr_2O_7^{2-}$



5- Volta a escrever as reação da combustão do magnésio e da "árvore de cobre" e explica-as, agora de acordo com o modelo do número de oxidação.

Atividade experimental nº 3

Oxidação do etanol



Material necessário:

Balão de duas tubuladuras de 250 mL

Âmpola ou funil de carga de 100 mL (com esmerilado ou adaptar uma rolha perfurada)

Cabeça de destilação

Termómetro e adaptador

Manta de aquecimento

Elevador

Condensador e tubos/mangueiras

Alonga

2 Erlenmeyer e uma rolha perfurada para um dos elenmeyer

Tina com gelo

Almofariz com pilão

Provetas

Balança, vidro de relógio e espátula

Suportes universais, garras e nozes

Reagentes:

Dicromato de potássio, $K_2Cr_2O_7$, 10g, pulverizado no almofariz

Solução de Ácido Sulfúrico concentrado + etanol (ver procedimento)

Procedimento:

1- Efetuar na Hotte a montagem da figura e colocar o dicromato de potássio sólido, pulverizado, no balão.
2- Preparar, num Erlenmeyer mergulhado em banho de gelo, a solução de ácido sulfúrico e etanol, misturando lentamente os reagentes pela seguinte ordem: água 30 mL, etanol 15 mL, H_2SO_4 concentrado 15 mL (Atenção!! Ver segurança!!)
3- Colocar a solução de ácido sulfúrico + etanol no funil de carga. Deixar cair, lentamente, do funil de carga a solução e ir aquecendo suavemente o balão (não ultrapassar os 60ºC).
4- A reação poderá considerar-se terminada quando a cor de laranja do dicromato passar a verde.
5- Recolher o destilado num balão arrefecido exteriormente num banho de gelo. Notar o cheiro agradável, a maçãs, do etanal.

   O destilado contém maioritariamente etanal mas também um pouco de água, etanol e ácido acético. O etanal tem um ponto de ebulição baixo (21ºC) pelo que deve ser recolhido num balão fechado e arrefecido em banho de gelo a fim de evitar perdas por evaporação.

Segurança:

- O ácido sulfúrico é muito corrosivo, causando graves ferimentos se derramado sobre a pele.
- Na preparação da solução de ácido sulfúrico + etanol, deve-se misturar cuidadosamente os reagentes pela ordem indicada, adicionando pequenas porções de H_2SO_4 concentrado e sempre com arrefecimento da solução em banho de gelo pois é fortemente exotérmica. Realizar na Hotte, usar luvas e bata.
- Os compostos de crómio (VI) são cancerígenos se manuseados durante períodos prolongados ou sem cuidado (evitar derramar as suas soluções sobre a pele)

6- Realizaste a reação indicada em baixo (a equação indicada não está acertada):

$$CH_3CH_2OH + Cr_2O_7^{2-} \longrightarrow CH_3CHO + Cr^{3+}$$

6.1- Indica os números de oxidação do:

Do carbono no etanol:_____

Do carbono no Etanal: _____

Do crómio no ião dicromato: _____

Do crómio no ião crómio (III): _____

6.2- Explica o que ocorreu durante esta reação química de acordo com o modelo do número de oxidação:

_____
_____
_____
_____
_____

6.3- Poderias explicar a oxidação do etanol pelo modelo de transferência de eletrões e pelo modelo do oxigénio? Justifica.

_____
_____
_____
_____
_____

7- O alcoolímetro é um aparelho utilizado pelas autoridades policiais para efetuar a medição do nível de alcoolémia nos condutores. Os modelos antigos continham o ião dicromato e observava-se uma mudança de cor na "palheta" (onde o condutor sopra) caso tivesse havido ingestão de bebidas alcoólicas. Consegues explicar o princípio químico subjacente ao funcionamento do alcoolímetro?

_____

_____

_____

_____

_____

_____

8- Em grupo, vais construir um mapa de conceitos para resumir e consolidar o que aprendeste sobre os diferentes modelos de explicação das reações de oxidação-redução. Para tal, vais formar um diagrama, ordenando os termos que se seguem segundo uma sequência lógica. Usa palavras de ligação entre estes termos para facilitar a leitura do diagrama.

Captação de eletrões

Reações de oxidação-redução

Modelo do Oxigénio

Oxidação de compostos covalentes

Cedência de Oxigénio

$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$

Oxidação

Aumento do número de oxidação

Modelo de Transferência de Eletrões

$Cu_{(s)} + Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + Ag_{(s)}$

Captação de Oxigénio

Redução

Modelo do número de oxidação

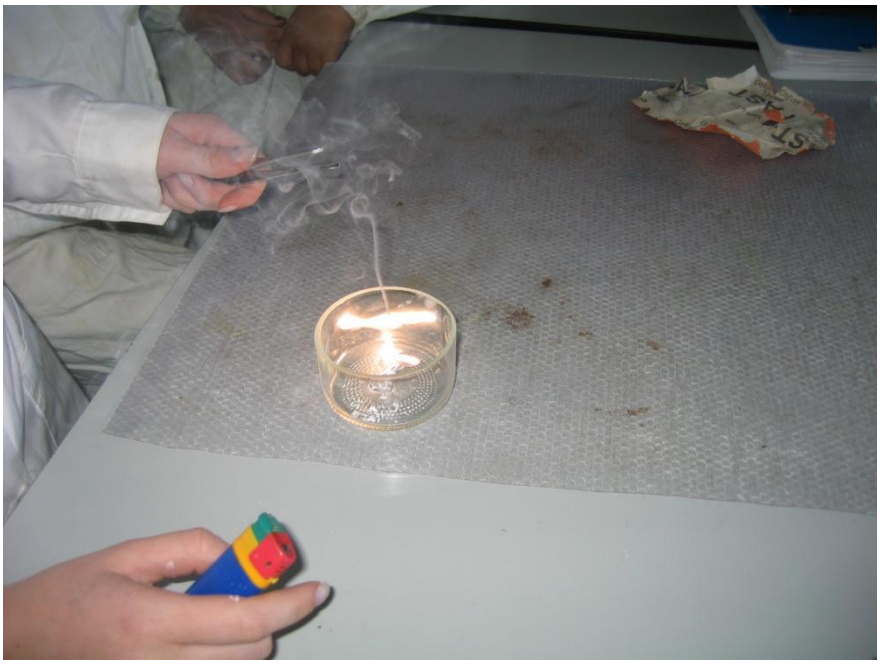
Diminuição do número de oxidação

Cedência de eletrões

Apêndice D

Registo fotográfico das atividades experimentais

Atividade experimental nº 1



Atividade experimental nº 2

Atividade experimental nº 3

Anexo A

Regras para a atribuição dos números de oxidação

Retirado de "Química" por R. Chang, 2005, 8ª Ed, p. 129, Lisboa: Mc Graw Hill

1- Nos elementos livres (isto é, no estado não combinado) cada átomo tem número de oxidação zero. Cada átomo em H_2, Br_2, Na, Be, K, O_2 e P_4 tem o mesmo número de oxidação: zero.

2- Para iões compostos por apenas um átomo (ou seja, iões monoatómicos), o número de oxidação é igual à carga do ião. Assim, o ião Li^+ tem número de oxidação +1; o ião Ba^{2+} de +2, o ião Fe^{3+} de +3, o ião I^- de -1, o ião O^{2-} de -2, e assim sucessivamente. Todos os metais alcalinos têm número de oxidação +1 e todos os metais alcalino-terrosos têm número de oxidação +2 nos seus compostos. O Alumínio tem um número de oxidação +3 em todos os seus compostos.

3- Na maioria dos compostos de Oxigénio (por exemplo, MgO e H_2O) o número de oxidação do Oxigénio é -2, mas no Peróxido de Hidrogénio (H_2O_2) e no ião Peróxido (O_2^{2-}), o seu número de oxidação é -1.

4- O número de oxidação do Hidrogénio é +1, excepto quando está ligado a metais em compostos binários. Por exemplo, em LiH, NaH, CaH_2 o número de oxidação é -1.

5- O Flúor tem número de oxidação é -1 em todos os compostos. Os outros halogéneos (Cl, Br e I) têm números de oxidação negativos quando existem como iões halogenetos nos seus compostos. Quando combinados com o Oxigénio, por exemplo nos oxoácidos e oxoaniões, têm números de oxidação negativos.

6- Numa molécula neutra, o somatório dos números de oxidação de todos os átomos tem de ser zero. Num ião poliatómico, o somatório dos números de oxidação de todos os elementos tem de ser à carga total do ião. Por exemplo, no ião amónio, NH_4^+, o número de oxidação do N é -3 e o de H é +1. Assim, o somatório dos números de oxidação é -3+4(+1)=+1, que é a carga total do ião.

7- Os números de oxidação não são obrigatoriamente números inteiros. Por exemplo, o número de oxidação do Oxigénio no ião superóxido, O_2^-, é -1/2.

Anexo B

A avaliação no modelo CCM

Avaliação das disposições ou comportamentos dos alunos. Adaptado de Schmidt, Saigo e Stepans, 2006, pp.116-117.

Expectativas-alvo	Expectativa satisfeita	Expectativa em desenvolvimento	Expectativa não satisfeita
Compromisso com uma posição pessoal em resposta a um desafio	Mostra disponibilidade para escrever razões e explicações	Evidencia algum esforço para escrever razões e explicações	Resiste a escrever razões e explicações
Partilha ideias com o grupo	Mostra disponibilidade para partilhar as suas opiniões e explicações	Tenta partilhar as suas opiniões e razões pessoais	Resiste à partilha
Audição das ideias dos colegas de turma	Ouve e tem em consideração as ideias alternativas de outros	Mostra alguma disponibilidade em ouvir e considerar as opiniões dos outros	Não consegue ou recusa considerar as ideias dos outros
Confrontação e testar as opiniões pessoais	Disponível para testar e confrontar as suas ideias	Tenta testar e confrontar as suas ideias	Recusa ou resiste ao confronto de ideias
Colaboração com os restantes membros do grupo	Colabora efetivamente com outros	Tenta colaborar	Recusa colaborar
Respeito pelas ideias e sugestões dos colegas de turma	Demonstra consistentemente respeito pelas ideias e opiniões dos outros	Por vezes demonstra respeito pelas opiniões dos outros	Demonstra falta de respeito pelas opiniões e ideias de alguns ou todos os colegas de turma
Flexibilidade e abertura face a novas informações	Mostra disponibilidade para considerar nova informação e rever as suas opiniões	Tenta rever as suas opiniões	Recusa rever as suas opiniões
Persistência no cumprimento de tarefas e pensamento ativo durante as atividades	Demonstra persistência em pensar e cumprir	Demonstra níveis inconsistentes de persistência	Não completa as tarefas ou desiste facilmente
Confiança em prosseguir em frente	Demonstra confiança ao longo da aula	Demonstra confiança em alguns aspetos da aula	Demonstra falta de confiança

Apreciação da importância dos conteúdos em estudo	Demonstra interesse e entusiasmo	Demonstra algum interesse ou entusiasmo	Revela desinteresse, não mostra envolvimento na aula
Interesse e entusiasmo face a um desafio	Demonstra interesse e entusiasmo pela exploração de um desafio	Interesse e entusiasmo inconsistentes	Recusa responder a um desafio e a envolver-se na aprendizagem

Avaliação dos conteúdos. Adaptado de Schmidt, Saigo e Stepans, 2006, pp.119-121.

Expectativas-alvo	Expectativa satisfeita	Expectativa em desenvolvimento	Expectativa não satisfeita
Identifica fatores e variáveis relacionadas com a investigação do desafio proposto	Consegue identificar e enumerar múltiplos fatores ou variáveis que possam estar envolvidas	Reconhece alguns dos fatores ou variáveis	Não identifica fatores ou variáveis relevantes
	Identifica a informação que precisa de recolher	Identifica alguma da informação que precisa de recolher	Não determina que informação precisa de recolher
Desenvolve planos para testar as várias ideias	Desenvolve estratégias e planos apropriados para explorar o problema	As estratégias e planos desenvolvidos têm mérito mas também falhas que impedem a exploração bem-sucedida do problema	A estratégia e plano não são apropriados para o problema
Conduz uma recolha apropriada e adequada de informação e dados	Identifica e localiza todos os potenciais recursos necessários	Identifica e localiza alguns dos recursos necessários	Não determina o que é necessário e não localiza recursos
	Faz observações e medições apropriadas	Faz algumas observações e medições apropriadas	As observações e medições são inadequadas ou incorretas
Registo correto de informação e dados	Toma notas e regista corretamente procedimentos, informações e dados	Os apontamentos, procedimentos, informação e dados são incompletas ou registados com imprecisão	Não toma apontamentos nem regista procedimentos, informações nem dados de uma forma substantiva
Organização da informação e dados	Consegue organizar e classificar a informação recolhida em conjuntos e sequências lógicas	Demonstra alguma lógica na organização de informação relacionada	Não relaciona a informação recolhida
Procura e identifica padrões, tendências e relações	Identifica e explica corretamente padrões, tendências e relações	Identifica alguns padrões, tendências e relações mas faltam algumas considerações importantes	Não identifica padrões, nem tendências nem relações.

Comunicação apropriada de dados, informações e análises	Explica e apresenta com clareza, eficácia e completude	As explicações e apresentações são incompletas e parcialmente apropriadas	Não comunica com clareza ou fá-lo de uma forma inapropriada para a situação
	Os dados, informação e análises são comunicados com eficácia e organização	Apresenta alguma dificuldade na organização e comunicação de dados, informações e análises	A informação, dados ou análises são comunicados de uma forma pobre ou desorganizada
	Os esquemas, tabelas ou gráficos apresentam os dados ou informação de uma forma correta e apropriada	Algumas representações visuais são bem-sucedidas; algumas incorreções na forma e conteúdo	Não utilização ou uso rudimentar de tabelas, gráficos e esquemas; problemática organização e escolha de formatos
Extensão, aplicação e relação dos conceitos aprendidos com experiências anteriores e outros contextos	Identifica e explica com correção relações e aplicações dos conceitos a situações quotidianas ou estudos académicos anteriores	Identifica algumas relações e aplicações pouco consistentes que revelam um entendimento incompleto e impreciso	Não estabelece relações nem reconhece aplicações
Proposta de novas questões, problemas e desafios	Propõe novas questões ou problemas que são embriões para o desenvolvimento de um entendimento mais profundo do conceito ou conceitos relacionados	Voluntariamente apresenta ideias mas com pouca relevância para os conceitos em estudo	Não coloca novas questões ou problemas
Demonstração de entendimento conceptual	Sintetiza a aula e exprime compreensão a um nível apropriado	Demonstra alguma síntese e compreensão parcial	As indicações de síntese e compreensão são mínimas ou ausentes