

FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Abordagem da Camada de Ozono no Ensino Básico:

Construção, Aplicação e Proposta de estratégias didácticas para o 7º ano

Susana Cristina de Azevedo Tavares

2003



FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Abordagem da Camada de Ozono no Ensino Básico:

Construção, Aplicação e Proposta de estratégias didácticas para o 7º ano

Tese orientada por:

Prof. Dr. João Carlos de Matos Paiva da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Prof. Dr. Joaquim C. G. Esteves da Silva da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Susana Cristina de Azevedo Tavares

Dissertação submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para obtenção do grau de Mestre em Química para o Ensino

2003

Agradecimentos

Apesar das muitas horas de isolamento, que um trabalho desta natureza implica, são muitos os que, de alguma forma, contribuíram para que esta investigação se concretizasse. Não sendo viável nomeá-los a todos, há no entanto alguns a quem não posso deixar de manifestar o meu apreço e agradecimento sincero.

Aos Professores Doutores João Carlos de Matos Paiva e Joaquim Esteves da Silva, por terem aceite orientar esta investigação e por o terem feito de uma forma tão motivadora. A orientação, a disponibilidade, o empenho, a confiança depositada e os incentivos dirigidos, contribuíram decisivamente para que a mesma tenha chegado a bom termo.

Ao Eng.º Ilídio Martins, pela sua disponibilidade, pelos seus conhecimentos e pela sua arte.

Ao Gabriel, pelo seu profissionalismo e tempo precioso dispendido na elaboração dos desenhos.

O meu reconhecimento aos alunos que, desinteressadamente, colaboraram tornando possível este estudo.

Ao Tiago, pela grande ajuda que me dispensou, mas acima de tudo pela boa vontade com que sempre o fez.

Ao João, por todas as horas, em que teve a paciência de me apoiar na parte informática e fotográfica. Mas acima de tudo pelo sorriso e disponibilidade com que sempre o fez, dando-me desta forma coragem para ultrapassar o tempo que a cada dia lhe subtraía.

À minha irmã, pela paciência e compreensão durante todo este trabalho. Sem não esquecer a sua preciosa ajuda no que se refere ao tratamento estatístico dos estudos realizados.

Aos meus pais, pelos incentivos de estímulo com que acompanharam este trabalho. Uma palavra de reconhecimento muito especial para eles, por todo o carinho pelo modo como ao longo destes anos, tão bem, souberam ajudar-me.

Resumo

A principal finalidade deste estudo foi elaborar actividades de ensino inovadoras e facilitadoras da aprendizagem da problemática: "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono". A recente revisão curricular introduz alterações substanciais à organização curricular, enfatizando a pertinência desta investigação.

Este trabalho decorreu em três etapas essenciais. A primeira foi a pesquisa bibliográfica das ideias dos alunos em relação a esta problemática bem como a procura dos recursos para o ensino, existentes neste domínio. A segunda etapa centrou-se na elaboração de duas estratégias de ensino inovadoras, atendendo às concepções identificadas, com componentes significativas ora de actividades de laboratório, ora de interacção multimédia. A última fase do trabalho compreendeu a implementação destas estratégias com alunos do 7º ano do Ensino Básico e sua avaliação comparativa com uma outra estratégia de cariz mais teórico.

Para avaliar a eficácia de qualquer uma destas estratégias usou-se um questionário elaborado para o efeito. Com alguma surpresa, não se notaram resultados significativamente diferentes nos três grupos actores da investigação. Este facto foi interpretado, avançando-se algumas hipóteses justificativas. Não obstante se tratarem de pequenos grupos de alunos, dos resultados extraíram-se conclusões, tiraram-se ilações e apontaram-se sugestões para futuros estudos.

Abstract

The main goal of this study was to create innovative teaching activities to facilitate the learning of the "Ozone layer thickness diminishing" problem. A recent national curriculum review introduces substantial changes to the syllabus organization, emphasizing the relevancy of this investigation.

This work was carried on in three essential stages. The first stage was to perform a bibliographic search of the student's ideas concerning this problem, as well as of the current teaching resources that exist in this domain. The second stage focused on the creation of two innovative teaching strategies, having in mind the identified conceptions, which have significant laboratorial activities or multimedia interaction. The last stage included the implementation of these strategies with 7^{th} grade students and its comparative evaluation with another strategy which had a more theoretical character.

A questionnaire made for this purpose was used to evaluate the efficiency of any of these strategies. Surprisingly, the results were not significantly different in the three actors groups of research. This fact was interpreted, and some hypothetical justifications were brought up. Regardless the small size of the student groups, conclusions were extracted from the results, inferences were taken out and suggestions for future studies were pointed.

Índice

Agradecimentos.....II
Resumo.....III
Abstract.....IV
Índice de figuras.....IX
Índice de gráficos.....XIII
Índice de tabelas.....XIV

1. Introdução.....1

2. Enquadramento da problemática:
"Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera".....4

3. Contextualização química.....9
3.1. A Terra Primitiva e a Origem da Vida.....11
3.1.1. Formação do Sistema Solar.....11
3.1.2. Formação da Terra.....12
3.2. A atmosfera.....19
3.2.1. O modo de exprimir as quantidades dos constituintes da atmosfera.....19
3.2.2. O estudo da química da atmosfera.....20
3.2.3. As camadas da atmosfera.....21
3.2.4. A composição da atmosfera que respiramos.....24
3.3. A química da estratosfera.....30
3.3.1. O ozono e a radiação ultravioleta.....30
3.3.2. Mecanismo de Chapman.....34
3.3.3. A primeira abordagem do problema: "Destruição da Camada de Ozono".....49
3.3.4. Os Clorofluorcarbonetos (CFCs).....53
3.3.5. O Buraco do Ozono – Porque a grande dimensão sobre a Antárctica?.....55
3.3.6. A resposta social e política.....60

4. Contextualização didáctica.....65
4.1. O ensino das Ciências – Breve retrospectiva.....66
4.1.1. O estudo das Concepções Alternativas (CA´s).....68

4.1.2. A origem das CA's.....70
4.1.3. Características das CA's.....71
4.2. Concepções alternativas no tema "Buraco na Camada de Ozono".....73

5. Estratégias para o Ensino da problemática: "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera".....82

5.1. Laboratório e Ensino da Química.....83
5.1.1. Diferentes perspectivas para o ensino experimental.....83
5.1.2. A evolução histórica do ensino experimental.....84
5.1.3. A situação actual do ensino experimental.....86
5.1.4. Vantagens e limitações do ensino experimental.....88
5.1.5. A actividade experimental proposta para o estudo da "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera".....92
5.1.6. Propostas para aplicação pedagógica das experiências desenvolvidas sobre a "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera".....93

5.2. As novas tecnologias de informação e comunicação e o Ensino da Química.....97
5.2.1. Utilização do computador no ensino.....97
5.2.2. Software Educativo em Ciências.....101
5.2.3. O caso particular das simulações.....110
5.2.4. Vantagens e limitações do multimédia e das simulações computacionais no ensino.....111
5.2.5. Recursos digitais sobre a Camada de Ozono.....114
5.2.6. Proposta para aplicação pedagógica do protótipo desenvolvido sobre a "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera".....116

6. Estudo de impacte com os alunos.....123
6.1. Questão de investigação.....124
6.2. Metodologia/Procedimento.....124
6.3. Plano de estudo adoptado.....128
6.3.1. Instrumento de recolha de dados.....129
6.4. Caracterização da amostra.....130
6.5. Procedimento de análise de dados quantitativos.....134

6.6. Limitações do estudo.....135

7. Discussão dos resultados.....137

7.1. Apresentação dos dados quantitativos obtidos.....138

7.2. Tratamento dos dados quantitativos obtidos.....140

7.3. Apresentação dos dados qualitativos obtidos.....144

7.4. Capacidade das diferentes sugestões metodológicas para superar as CA´s.....146

8. Conclusões.....148

9. Bibliografia.....153

10. Anexos.....165

Anexo 1- Fotografias das três experiências realizadas para investigar a protecção da radiação ultravioleta provida por diferentes sistemas.....166

Anexo 2- Protocolos experimentais para o 7º ano.....174

Anexo 3- Versão dos protocolos experimentais para o 10º ano (apenas a execução experimental).....185

Anexo 4- Texto fornecido aos alunos sobre a problemática em estudo.....189

Anexo 5- Fotografias da aplicação das diferentes abordagens desta temática.....195

Anexo 6- Questionário.....199

Anexo 7- Notas dos testes de avaliação à disciplina de Ciências Físico-Químicas e algumas médias.....207

Anexo 8- Dados amostrais e cálculo de estatísticas para efectuar o teste de hipóteses ANOVA com o objectivo de avaliar:.....209

- a igualdade das médias dos 4 testes realizados à disciplina de Ciências Físico-Químicas entre os três grupos.....210
- a igualdade das médias de cada um dos testes realizados à disciplina de Ciências Físico-Químicas entre os três grupos.....211
- a igualdade das médias dos 4 testes realizados à disciplina de Ciências Físico-Químicas em relação a cada um dos alunos dos grupos.....215

Anexo 9- Quantificação das respostas dadas pelos alunos nos questionários (Pré-teste e pós-teste).....222

Anexo 10- Valores calculados para os ganhos de aprendizagem.....224

Anexo 11- CD com o software educativo criado no âmbito desta tese

Índice de Figuras

Fig. 1- Evolução do Sistema Solar (PRESS e SIEVER, 2001) 11

Fig. 2- O planeta Terra, fotografado pelos astronautas da Apollo 17 (ASTRO, 2003) 12

Fig. 3- Representação esquemática da Terra (PRESS e SIEVER, 2001) 13

Fig. 4- Causas do aquecimento terrestre. A- A acreção (processo pelo qual, na nébula Solar primitiva, os corpos sólidos se agruparam para formarem os planetas), B- A força gravítica comprime a Terra primitiva fazendo diminuir o seu volume, C- A desintegração dos elementos radioactivos liberta calor que flúi através dos materiais (SILVA [*et al.*], 1997)... 13

Fig. 5- Diferenciação do planeta Terra (PRESS e SIEVER, 2001) 14

Fig. 6- Curva de crescimento dos continentes reconstruída a partir de dados fornecidos por elementos radioactivos presentes em rochas magmáticas (SILVA [*et al.*], 1997)..... 15

Fig. 7- Evolução da atmosfera terrestre (SILVA [*et al.*], 1997) 16

Fig. 8- As cianobactérias contam-se entre os poucos organismos antigos responsáveis pela fotossíntese. Podem viver em colónias compostas por mil milhões de indivíduos, formando depósitos de carbonato de cálcio, designados por estromatólitos, que atingem os 10 metros de largura. Os primeiros vestígios destas estruturas remontam a três milhões de anos atrás (COUTINHO, 2003). 17

Fig. 9- Mudança da atmosfera terrestre devido à acumulação de oxigénio produzido pelas cianobactérias (COUTINHO, 2003) 17

Fig. 10- Estrutura vertical da atmosfera, baseada na variação das características térmicas, em altitude (SCHLESINGER, 1997) 22

Fig. 11- Diagrama de níveis de energia da orbital atómica do átomo de oxigénio, na sua forma paramagnética..... 25

Fig. 12 - Diagrama de níveis de energia do átomo de oxigénio nas das duas formas diamagnéticas possíveis 26

Fig. 13- Diagrama de níveis de energia da orbital molecular mostrando a combinação das orbitais atómicas 2p na molécula de oxigénio (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002) . 28

Fig. 14- Diagrama de níveis de energia da orbital molecular mostrando a combinação das orbitais atómicas 2p na forma mais comum das duas formas diamagnéticas da molécula de oxigénio (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002) 28

Fig. 15- Diagrama de níveis de energia da orbital molecular mostrando a combinação das orbitais atómicas 2p na forma menos comum das duas formas diamagnéticas da molécula de oxigénio (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002) 29

Fig. 16- Camada de ozono que se encontra na estratosfera (NATURALEZA EDUCATIVA, 2003) 30

Fig. 17- Mascote usada para representar a molécula de ozono aos alunos 31

Fig. 18- Local propício para exposição prolongada à radiação ultravioleta (REIS, 2002) 32

Fig. 19- Manifestação visível de um carcinoma (REIS, 2002) 33

Fig. 20- Região de produção agrícola (REIS, 2002) 33

Fig. 21- Formação de ozono (moléculas cm^{-1}) a partir da fotólise de O_2 em função da latitude e da altitude (VANLOON e DUFFY, 2000) 39

Fig. 22- Concentração de ozono (em unidades 10^{12} moléculas cm^{-3}) em função da altitude (VANLOON e DUFFY, 2000) 40

Fig. 23- Esquema simplificado dos ciclos de destruição de ozono pelos ClO_x (VANLOON e DUFFY, 2000) 47

Fig. 24 - Mário Molina (a) e Sherwood Rowland (b) (Laureados prémio Nobel da Química em 1995) (NOBEL e-MUSEUM, 2003) 49

Fig. 25- Primeira publicação da evidência da diminuição da espessura da camada de ozono, ao longo de um período de 30 anos. Estas medições foram feitas em Halley Bay, na costa do Antárctico (GLOBAL, 2003) 50

Fig. 26- Composição dos CFCs (NATURALEZA, 2003) 53

Fig. 27- Representação gráfica da variação total de ozono 56

Fig. 28- Ciclos catalíticos que envolvem espécies de cloro na química do "buraco do ozono" (VANLOON e DUFFY, 2000) 59

Fig. 29- Períodos de vida média dos clorofluorcarbonetos e dos hidroclorofluorcarbonetos na atmosfera 63

Fig. 30- A protecção do mundo pelo Homem (COLLEGE, 2003) 64

Fig. 31- Exemplo de uma interface usada num jogo sobre a camada de ozono (FELDMAN, 2003) 103

Fig. 32- Exemplo da interface usado no jogo "Nós e o Ozono" (criada no âmbito desta tese) 103

Fig. 33- Exemplos de que, muitas vezes, "uma imagem vale mais do que mil palavras" (ENVIRONMENT, 2003; INSTITUTO, 2003) 104

Fig. 34- Mascote usada para representar a molécula de ozono no software educativo criado no âmbito desta tese 104

Fig. 35- Propriedades do cloro (SOFT CIÊNCIAS, 2003) 105

Fig. 36- Imagem do hipertexto do software educativo criado no âmbito desta tese 106

Fig. 37- A digitalização do som cria para os utilizadores uma maior sensação de envolvimento com outros elementos dos media (TREINISH, 2003) 107

Fig. 38- Imagem estática do desenho animada usado no nosso software 107

Fig. 39- Imagem estática do jogo "Prevenir". Parte da software onde surge som, conforme as escolhas 107

Fig. 40- Fusão da televisão com a Internet. O vídeo mostra uma alteração simulada da concentração de ozono na estratosfera a uma altitude de 25 km durante um período de três meses (BÖTTINGER e BIERCAMP,, 2003) 108

Fig. 41- Animação do mecanismo de formação e de destruição do ozono (FACES, 2003). 109

Fig. 42- Imagem estática do Mecanismo de Chapman que existe no software educativo criado no âmbito desta tese 109

Fig. 43- Imagem estereoscópica do ozono (MOLECULARIUM, 2003) 110

Fig. 44- Imagem inicial do software educativo criado no âmbito desta tese 117

Fig. 45- Imagem do software educativo criado no âmbito desta tese 118

Fig. 46- Imagem da estrutura da atmosfera 118

Fig. 47- Hipertexto onde se refere a localização e importância da camada de ozono 119

Fig. 48- Mecanismo de formação da Camada de Ozono apresentado no software desenvolvido 119

Fig. 49- Imagens com a pergunta e as possíveis respostas 120

Fig. 50- Hipertexto criado no âmbito desta tese 121

Fig. 51- Imagem estática do desenho animado usado no nosso software 121

Fig. 52- Hipertexto criado no âmbito desta tese 122

Fig. 53- Imagem estática do jogo "Prevenir" 122

Fig. 54- Desenvolvimento da abordagem teórica (No anexo 5 surgem mais fotografias) 125

Fig. 55, 56, 57 e 58- Desenvolvimento da abordagem laboratorial (No anexo 5 surgem mais fotografias) 126

Fig. 59 e 60- Desenvolvimento da abordagem multimédia (No anexo 5 surgem mais fotografias) 127

Índice de gráficos

Gráfico 1 – Comparação da média dos testes à disciplina de Ciências Físico-Químicas dos diferentes grupos antes do ensino diferencial 132

Gráfico 2- Comparação da média dos quatro testes dos diferentes alunos antes do ensino diferencial 133

Gráfico 3- Resultados obtidos pelos participantes no pré-teste e no pós-teste 138

Gráfico 4- Representação gráfica dos valores obtidos no pós-teste em função dos valores obtidos no pré-teste 138

Gráfico 5- Ganhos residuais corrigidos para cada aluno 139

Índice de tabelas

Tabela 1- Diferença de designação dos valores 10^3, 10^6,10^9 e 10^{12} entre as línguas germânicas e as românicas 20

Tabela 2- Características das diferentes camadas da atmosfera..... 23

Tabela 3- Gases atmosféricos (SEINFELD e PANDIS, 1998)..... 24

Tabela 4- Relação entre o número de electrões desemparelhados, o spin resultante e a multiplicidade (LEE, 1977)..... 27

Tabela 5- Classificação da radiação ultravioleta (VANLOON e DUFFY, 2000) 31

Tabela 6- Razões de mistura dos radicais hidroxílo e hidroperoxílo determinadas in situ..... 43

Tabela 7- Características dos CFCs comuns (VANLOON e DUFFY, 2000)..... 54

Tabela 8- Alternativas aos CFCs..... 62

Tabela 9- Elementos relativos aos artigos usados: autor, ano e amostra 74

Tabela 10- Concepções alternativas associadas aos conceitos: "Ozono", "Camada de Ozono" e "Buraco na Camada de Ozono"..... 75

Tabela 11- Concepções alternativas sobre a função da Camada de Ozono 76

Tabela 12- Concepções alternativas sobre os factores responsáveis pelo "Buraco na Camada de Ozono"..... 77

Tabela 13- Concepções alternativas sobre as consequências do "Buraco na Camada de Ozono" 79

Tabela 14- Concepções alternativas sobre a origem dos CFCs 80

Tabela 15- Concepções alternativas sobre as consequências do uso dos CFCs..... 80

Tabela 16- Concepções alternativas sobre os conceitos: "radiação visível" e "radiação ultravioleta"..... 80

Tabela 17- Vantagens do trabalho experimental 89

Tabela 18- Limitações do trabalho experimental 91

Tabela 19 – Questão, objectivos e síntese da introdução teórica dos três protocolos experimentais (PE) 95

Tabela 20- Possíveis contribuições para a aprendizagem 100

Tabela 21- Possíveis contribuições para a função do professor 101

Tabela 22- Vantagens do uso do multimédia e das simulações computacionais 112

Tabela 23- Limitações do uso do multimédia e das simulações computacionais 113

Tabela 24- Ferramentas multimédia sobre a camada de ozono 114

Tabela 25- Vantagens e desvantagens das perguntas abertas e das perguntas fechadas 130

Tabela 26- Características dos três grupos 131

Tabela 27- Parâmetros estatísticos relativos aos testes à disciplina de Ciências Físico-Químicas dos diferentes grupos antes do ensino diferencial 132

Tabela 28- Parâmetros estatísticos relativos aos diferentes alunos (desde o aluno A ao aluno G) antes do ensino diferencial 133

Tabela 29- Ganhos residuais corrigidos médios 139

Tabela 30- Ganhos residuais corrigidos por aluno 141

Tabela 31 e Tabela 32- Cálculo de estatísticas 141

Tabela 33- Comentários dos alunos que surgem na pergunta aberta existente no questionário 144

Tabela 34- Avaliação da capacidade das diferentes abordagens para superar algumas das CA's existentes sobre este tema 147

1. Introdução

1. Introdução

A vida do Homem foi sempre uma constante adaptação, porém estamos a viver uma época sem paralelo na história da humanidade. Hoje é necessário adaptarmo-nos mais depressa do que no passado, surgindo daí consequências positivas e negativas. Como educadores, temos sobretudo que estar atentos àquelas mudanças que dizem respeito à educação.

Educar hoje, não é apenas sinónimo de transmitir conhecimento. Educar abrange uma actuação complexa, com o intuito de conduzir ao desenvolvimento de capacidades e à aquisição de comportamentos, pessoais e sociais, que auxiliem a integração do indivíduo na sociedade. Importa desenvolver capacidades diversas (cognitivas, afectivas e sociais) como a observação, a análise, a crítica, a estruturação de ideias e raciocínios, a formulação de conceitos e generalizações, a comunicação oral, a criatividade, o respeito pelas ideias e opiniões dos outros, a cooperação e a solidariedade (CAMACHO, 2003).

Todavia, o elemento central na educação continua a ser o processo de ensino-aprendizagem, muito embora hoje a relevância seja dada à interacção entre o professor, a quem cabe a tarefa de ensinar, e o aluno, a quem cabe a tarefa de aprender. A investigação educacional tem mesmo apontado, algumas vezes, para a necessidade do abandono da exclusividade dos métodos mais teóricos, em que na sala de aula o professor assume exclusivamente o papel de fonte de informação, não havendo deste modo espaço para a referida interacção entre os elementos envolvidos no processo de ensino-aprendizagem. Essas investigações recentes alertam também para a necessidade de encarar a aprendizagem como um processo construtivo no qual o aluno interage com dados de nova informação atendendo às suas concepções prévias, procurando estabelecer assim um conhecimento para o qual vê significado (FREITAS [*et al.*], 1997).

Um dos objectivos a que nos propomos neste trabalho é desenvolver metodologias de abordagem inovadoras, atendendo à necessária interacção entre o professor e o aluno, de forma a ensinar cada vez mais e melhor um problema no âmbito da Educação Ambiental, problema esse que ocupará um lugar de destaque nos novos programas do ensino básico, mas essencialmente secundário e que se verificou existir um enorme desconhecimento no estudo internacional PISA 2000.

Serão aqui propostas actividades sobre o problema ambiental e social, de carácter mundial, da "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera" que têm como

objectivo criar um ambiente agradável de confronto de ideias e de saberes entre o professor e os alunos, além de proporcionarem ocasiões para que estes investiguem e construam os seus próprios conhecimentos sobre esta temática. Além de apresentadas estas diferentes metodologias de abordagem (cap.5) também será feita a comparação entre elas e outra, de cariz mais teórico (cap.6).

Contudo, com qualquer uma destas abordagens pretende-se, acima de tudo, promover o desenvolvimento das capacidades dos alunos para agir de forma responsável e fundamentada nas mais variadas questões ambientais, sociais e pessoais suscitadas pelo actual estado da nossa sociedade. Por essa razão a implementação do estudo decorre numa turma de 7º ano do Ensino Básico, no âmbito da área curricular não disciplinar: Área de Projecto.

O estudo decorreu em duas secções. A primeira delas envolveu a aplicação de um questionário de resposta escrita, construído para esse efeito, com questões maioritariamente fechadas. Numa fase seguinte, a amostra foi dividida em três grupos de estudo, com o intuito de se verificar a eficácia das três diferentes estratégias de ensino-aprendizagem desta problemática. Estas três estratégias têm componentes significativas diferentes, uma de actividades de laboratório, outra de interacção multimédia e uma outra de desenvolvimento mais teórico com texto de apoio. No final do desenvolvimento dessas metodologias, a amostra foi submetida novamente ao questionário com o objectivo de se avaliar os conhecimentos e competências adquiridas devido à aplicação de um ensino diferenciado.

As respostas fechadas dos questionários foram objecto de tratamento estatístico, com recurso a um programa do Excel e as respostas à pergunta aberta analisadas qualitativamente (cap.7).

Dos resultados extraíram-se conclusões (cap.8), fizeram-se ilações e apontaram-se sugestões de reformulação para futuros estudos.

A tese está disponível *on-line* em http://educa.fc.up.pt/teses.php.

2. Enquadramento da problemática:
"Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera"

2. Enquadramento da problemática: "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera"

O presente estudo, foi motivado pela revisão curricular em curso, a qual introduzirá alterações substanciais, resultado quer de um conjunto de desajustamentos detectados na última organização curricular, quer do facto de que cada vez mais se pretender que a escola tenha um lugar determinante, consciencioso e aberto na construção do futuro dos indivíduos e das sociedades.

Em Portugal, tal como em outros países, tem vindo a tomar-se consciência de que o ensino tem que responder, cada vez mais e melhor, às necessidades educativas e formativas e às legítimas expectativas pessoais dos jovens e das famílias, assim como às necessidades e exigências da sociedade. Não se pretende, contudo, que a aprendizagem conceptual seja desprezada mas que surja mais integrada no dinamismo ciência – tecnologia – sociedade – ambiente (CTSA).

No que se refere aos assuntos ambientais, a preocupação tem vindo a aumentar, e de forma notória, a partir dos anos sessenta, na Europa e nos Estados Unidos. Em Portugal, essas preocupações só começaram a ser evidentes na 2ª metade da década de setenta. Porém há que revelar que essa preocupação não conduziu de início a uma adesão generalizada da população. Revelou-se mais intensa junto daqueles que se debatiam com a degradação acentuada dos locais onde habitavam. Todavia, com o avançar dos tempos, o despertar do interesse para as questões ambientais, mesmo para os mais graves problemas ecológicos mundiais, tem vindo a crescer de forma continuada.

A nível de escola, temos constatado que este género de problema tem vindo a ser alvo de vários projectos, que cada vez mais vêem adquirindo um carácter sistémico e consistente.

No que concerne ao problema ambiental e social da "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono", podemos dizer que até à entrada da última organização curricular este era referido, ainda que de forma breve, em alguns dos manuais de 9º ano de escolaridade na unidade opcional: "Atmosfera e mudanças de tempo". Neste sentido, os novos programas representam à priori um progresso interessante, pois este passa a ser um tema ao qual será dado especial relevância, quer a nível do ensino básico, quer a nível do ensino secundário.

A nível do Ensino Básico, na Unidade: "Sustentabilidade na Terra" será feita referência a este problema em "Influência da actividade humana na atmosfera terrestre e no clima". Tal como constatamos no seguinte excerto retirado das orientações curriculares para o 3º ciclo do Ensino Básico:

"O estudo deste tópico, tendo em conta o seu carácter interdisciplinar, deve ser realizado em coordenação com a disciplinas de Ciências Naturais e Geografia. Sugere-se a realização de projectos centrados na identificação de poluentes atmosféricos, as suas possíveis causas, consequências e formas de minimização. Nestes projectos os alunos podem, por exemplo, analisar boletins com os valores dos poluentes atmosféricos em vários pontos do nosso país, explicar a redução do ozono na estratosfera e discutir o impacto desse na redução na vida. Os alunos devem tomar consciência da importância de se acabar com a emissão de determinados gases, tendo em vista a protecção da vida na Terra (ex. óxidos azotados e clorofluorcarbonetos (CFCs))" (PROGRAMA CFN, 2001).
(http://www.deb.minedu.pt/curriculo/Reorganizacao_Curricular/reorgcurricular_orientcurriculares.asp)

Porém, o grande lugar de destaque será dado no programa do 10º ano, do Ensino Secundário, em Física e Química A. É de referir que, apesar da reorganização curricular já estar em vigor no ano lectivo 2002/2003 para o Ensino Básico, o mesmo se passou para o ensino secundário. Este processo de revisão curricular iniciado pelo Ministério da Educação em 1997 esteve planeado para uma concretização nas escolas para esse mesmo ano lectivo para todos os jovens que nesse ano ingressassem no 10.º ano de escolaridade, estendendo-se progressivamente aos 11.º e 12.º anos de escolaridade nos anos lectivos subsequentes. No entanto, este processo viu-se adiado iniciando-se no presente ano lectivo a sua implementação.

No que concerne ao estudo desta problemática o grande ênfase no 10º ano de escolaridade, surge na Unidade 2 – "Na atmosfera da Terra: radiação, matéria e estrutura", cujos objectivos de aprendizagem referidos no programa são:

"Interacção radiação-matéria:

- Interpretar a formação dos radicais livres da atmosfera (estratosfera e troposfera) $HO^{\bullet}$, $Br^{\bullet}$ e $Cl^{\bullet}$ como resultado da interacção entre radiação e matéria;
- Interpretar a formação dos iões O_2^+, O^+ e NO^+ como resultado da interacção entre radiação e matéria;
- Interpretar a atmosfera como filtro solar (em termos de absorção de várias energias nas várias camadas da atmosfera);
- Enumerar alguns dos efeitos da acção de radicais livres na atmosfera sobre os seres vivos.

O ozono na estratosfera

- Compreender o efeito da radiação na produção de ozono estratosférico;
- Explicar o balanço O_2/O_3 na atmosfera em termos da fotodissociação de O_2 e de O_3;
- Explicar a importância do equilíbrio anterior para a vida na Terra;
- Conhecer formas de caracterizar a radiação incidente numa superfície – filtros mecânicos e filtros químicos;
- Interpretar o modo como actua um filtro solar;
- Indicar o significado de "índice de protecção solar";
- Interpretar o significado de "camada do ozono";
- Discutir os resultados da medição da concentração do ozono ao longo do tempo, como indicador do problema da degradação da camada do ozono;
- Interpretar o significado da frase "buraco da camada do ozono" em termos da diminuição da concentração daquele gás;
- Compreender algumas razões para que essa diminuição não seja uniforme;
- Indicar alguns dos agentes (naturais e antropogénicos) que podem provocar a destruição do ozono;
- Indicar algumas consequências da diminuição do ozono estratosférico, para a vida na Terra;
- Indicar o significado da sigla CFC's, identificando os compostos a que ela se refere pelo nome e fórmula, como derivados do metano e do etano;
- Aplicar a nomenclatura IUPAC a alguns alcanos e seus derivados halogenados;
- Explicar por que razão os CFC's foram produzidos em larga escala, referindo as suas propriedades e aplicações;
- Indicar alguns dos substitutos dos CFC's e suas limitações."

(PROGRAMA FQ, 2002)

(http://www.des.min-edu.pt/download/prog_hom/fisica_quimica_a_10_homol_nova_ver.pdf)

Como este problema ambiental e social exige que cada vez mais os cidadãos ajam de forma responsável, fundamentada e consciente, pensamos que este também poderá ser um tema a abordar na área curricular não disciplinar: Área de Projecto.

De acordo com as orientações para estas áreas curriculares, a Área de Projecto tem como finalidade:

"- Desenvolver competências sociais, tais como a comunicação, o trabalho em equipa, a gestão de conflitos, a tomada de decisões e a avaliação dos processos;

- Aprender a resolver problemas, partindo das situações e dos recursos existentes;

- Promover a integração de saberes através da sua aplicação contextualizada;

- Desenvolver as vertentes de pesquisa e intervenção, promovendo a articulação das diferentes áreas disciplinares/disciplinas;

- Aprofundar o significado social das aprendizagens disciplinares."

(ÁREAS CND, 2000)

(http://www.deb.min-edu.pt/legislacao/TempFiles/debD76.tmp_OC1_02.htm)

Este espaço curricular não disciplinar faz parte do currículo para os alunos do 1°, 2° e 3° ciclos do Ensino Básico e procura envolvê-los na concepção, realização e avaliação de projectos, permitindo-lhes articular saberes de diversas áreas curriculares/disciplinares ou disciplinas em torno de problemas ou temas de pesquisa ou de intervenção. Assim sendo, com toda a legitimidade um desses problemas ou temas poderá ser a "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono".

Em termos genéricos, podemos dizer que esta nova proposta de organização curricular admite grande viragem no processo de ensino-aprendizagem de forma a responder ao grande desafio da diversidade e da heterogeneidade que hoje fazem parte integrante da vida das escolas. Acreditamos que com ela a escola pode e deve ajudar as crianças e os jovens a atingir a tão desejada alfabetização científica, que cada vez mais é um requisito da sociedade contemporânea.

Assim sendo, as propostas metodológicas inovadoras que desenvolvemos neste trabalho têm todo o sentido nesta nova visão de escola, pois a partir delas é possível fazer-se o estudo a este problema ambiental e social de grande importância, dada a sua actualidade.

3. Contextualização química

3. Contextualização química

A existência no âmbito desta tese de um capítulo de natureza científica como este deve-se à metodologia típica deste mestrado em "Química para o Ensino" e ao interesse em aprofundar cientificamente os conceitos associados à camada de ozono.

Pensamos que neste trabalho vale a pena subir a fasquia científica acima do exigível a alunos do ensino básico. É nossa convicção que para se ensinar e proporcionar boas e consistentes aprendizagens, no verdadeiro sentido da palavra, é necessário saber-se muito mais do que aquilo que se pretende que os alunos aprendam.

Além disso, ao ser nossa intenção criar um trabalho experimental (cap. 5.1.5) e um protótipo multimédia (cap. 5.2.6) sobre esta temática reconhecemos que era essencial aprofundar o seu estudo. Conhecer melhor os assuntos cientificamente que se afloram no ensino básico pode evitar o comprometimento de aprendizagens ulteriores. Exemplo disso é o estudo do mecanismo de Chapman (cap. 3.3.2), que nesta contextualização sofre um estudo bastante aprofundado e pormenorizado. Ao estarmos conscientes da sua complexidade, optámos por apresentar parte dele no protótipo multimédia e com o recurso a uma simulação, ainda que reconheçamos que para a maioria dos alunos do ensino básico esta simulação é demasiado complexa (não sendo negativo, contudo, os alunos tomarem um primeiro contacto).

Outra das simplificações conscientes surge no trabalho experimental, também este totalmente delineado por nós. Ao estarmos convictos que a protecção promovida pela camada de ozono à radiação ultravioleta não é um processo simples e envolve inúmeras situações particulares, optámos por apresentá-la aos alunos que usufruem desta abordagem com o recurso a evidências experimentais promovidas por diversos elementos, como veremos em 5.1.5.

Assim apesar deste capítulo ser relativamente extenso pensamos que se justifica, atendendo à nossa intenção de criar situações inovadoras de abordagem desta temática.

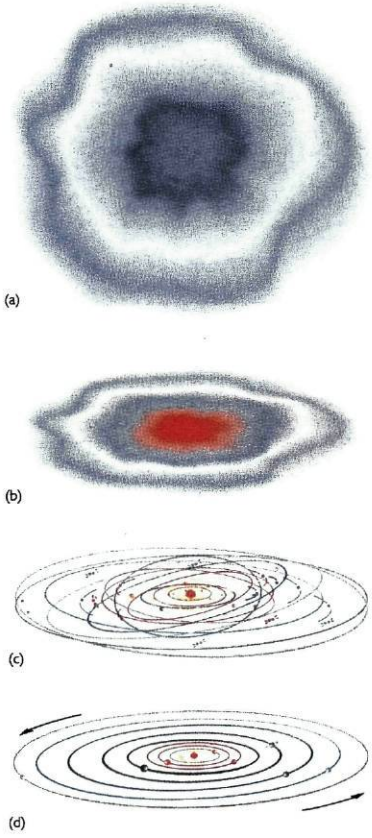
3.1. A Terra Primitiva e a Origem da Vida

3.1.1. Formação do Sistema Solar

Existem várias teorias acerca do modo como surgiu o Universo. Nos dias de hoje a explicação científica mais aceite é a teoria do Big Bang, na qual o nosso Universo começou entre 12 a 13,5 biliões de anos atrás com uma explosão cósmica. Antes deste momento toda a matéria e energia que o constitui estava extremamente concentrada num denso, simples e inconcebível ponto (PRESS e SIEVER, 2001).

Centrando-nos em termos de espaço, com o intuito de chegar a um local único, casa de mais de um milhão de formas de vida, incluindo nós próprios, podemos referir que a nossa galáxia tem aproximadamente 10 biliões de anos, enquanto que o Sistema Solar parece ter apenas metade dessa idade, cerca de 4,6 biliões de anos.

Os modelos actuais da origem do Sistema Solar sugerem que o Sol e os planetas formaram-se a partir do remanescente de uma supernova, a qual deixou uma colecção de gases quentes e partículas no espaço (SCHLESINGER, 1997).



Como se representa na Fig. 1, o Sol primitivo encontrava-se rodeado por uma nuvem de gás e poeira. Mas, à medida que a estrutura do Sistema Solar se foi aproximando da actual, a matéria que girava à sua volta sofreu processos de condensação, no decurso dos quais as partículas de pequenas dimensões foram-se agrupando para formar rochas de diversos tamanhos. Rochas essas que ao chocarem entre si, podiam desintegrar-se ou fundir-se, constituindo outras de massa maior. Este contínuo e caótico processo de formação e destruição acabou por dar origem a massas de grandes dimensões, que permaneceram unidas devido à existência de um campo gravitacional. Nesta sequência, toda a matéria dispersa acabou por agrupar-se em estruturas mais ou menos esféricas que orbitam, ainda hoje, em torno do Sol.

Fig. 1- Evolução do Sistema Solar (PRESS e SIEVER, 2001)

3.1.2. Formação da Terra

De todos os planetas do Sistema Solar, a Terra é o maior de consistência rochosa. Como se constata na Fig. 2 vista do espaço apresenta-se como uma esfera azul brilhante, envolta num manto de nuvens brancas de densidade variável (SILVA [*et al.*], 1997).



Fig. 2- O planeta Terra, fotografado pelos astronautas da Apollo 17 (ASTRO, 2003)

A Terra, apresenta também características essenciais que possibilitaram o aparecimento de vida. Uma delas é o tamanho, que proporciona a existência de gravidade suficiente para reter os gases que a rodeiam e constituir assim, uma atmosfera; a outra é a sua distância ao Sol, que permite que a temperatura se mantenha dentro do intervalo em que a matéria orgânica se mantém estável.

Mair Patterson, em 1953, baseando-se na análise dos isótopos de chumbo, resultantes da desintegração do urânio, determinou que a Terra tem cerca de 4550 milhões de anos. No entanto, embora esta se tenha começado a formar por esta altura, continuou a crescer durante cerca de 120 a 150 milhões de anos até atingir as dimensões actuais (SILVA [*et al.*], 1997).

Acreção e diferenciação do planeta Terra

Em termos de estrutura, podemos dizer que a Terra apresenta camadas concêntricas (Fig. 3), com um núcleo muito denso rodeado por um manto e uma crosta menos densos. Porém, a existência à superfície de uma atmosfera gasosa e de uma hidrosfera, levou a que se procurasse uma explicação para essa diferenciação estrutural e química (SILVA [*et al.*], 1997).

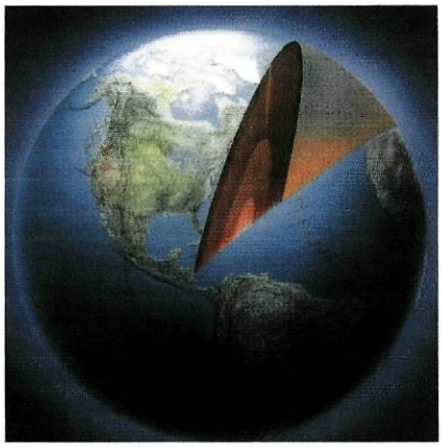


Fig. 3- Representação esquemática da Terra (PRESS e SIEVER, 2001)

Existem muitas teorias em relação à origem e diferenciação da Terra. Uma delas sugere que esta pode ter nascido por um incremento homogéneo. Se assim foi, acredita-se que ao longo da sua história, a Terra capturou planetesimais (corpos com cerca de 100 km de diâmetro resultantes da aglutinação, na nébula solar, de poeiras constituídas por diferentes minerais) relativamente semelhantes em composição (SCHLESINGER, 1997).

Durante este processo pensa-se também que a Terra poderá ter aquecido devido a três fontes caloríficas diferentes: o impacto dos planetesimais, a compressão e a desintegração radioactiva (Fig. 4).

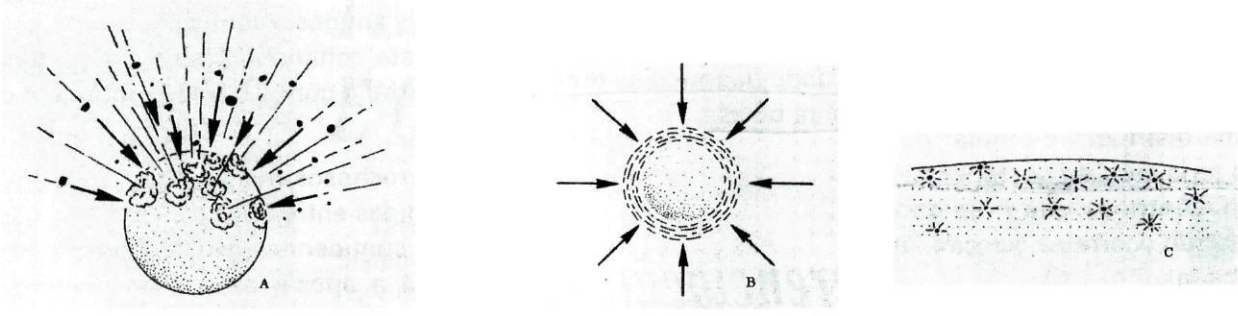


Fig. 4- Causas do aquecimento terrestre. A- A acreção (processo pelo qual, na nébula Solar primitiva, os corpos sólidos se agruparam para formarem os planetas), B- A força gravítica comprime a Terra primitiva fazendo diminuir o seu volume, C- A desintegração dos elementos radioactivos liberta calor que flúi através dos materiais (SILVA [*et al.*], 1997)

A quando do impacto dos planetesimais, a sua energia cinética era convertida em calor, porém nem todo este ficava retido no planeta, pois grande parte dele podia irradiar para o espaço. Outra das fontes poderá ter sido a compressão das zonas internas do planeta, como consequência do peso crescente da acumulação de novos materiais. Este calor no entanto, não podia irradiar para o espaço devido à fraca condutividade das rochas. Outro dos factores que

poderá ter levado ao aquecimento do planeta resulta da desintegração radioactiva. Elementos pesados, que existiam na altura em grandes quantidades, como o urânio e o tório e uma pequena fracção de átomos de potássio, desintegravam-se e emitiam energia ao transformarem-se noutros elementos.

Todo este calor, proveniente destas diferentes fontes caloríficas, acumulou-se e a temperatura no interior da Terra aumentou, chegando a atingir o ponto de fusão do ferro, do níquel e de outros metais. Sendo o ferro mais denso do que os outros elementos comuns, quando começou a fundir teve tendência a movimentar-se em direcção ao interior do planeta formando no seu centro um núcleo líquido.

Com esta deslocação do ferro para o centro da Terra, a sua temperatura aumentou até cerca de 2000ºC, o que provocou a fusão de uma grande parte dos materiais que a constituíam. Como consequência, os materiais menos densos migraram para a superfície, arrefeceram e deram origem a crosta primitiva. A esquematização deste processo surge na figura seguinte:

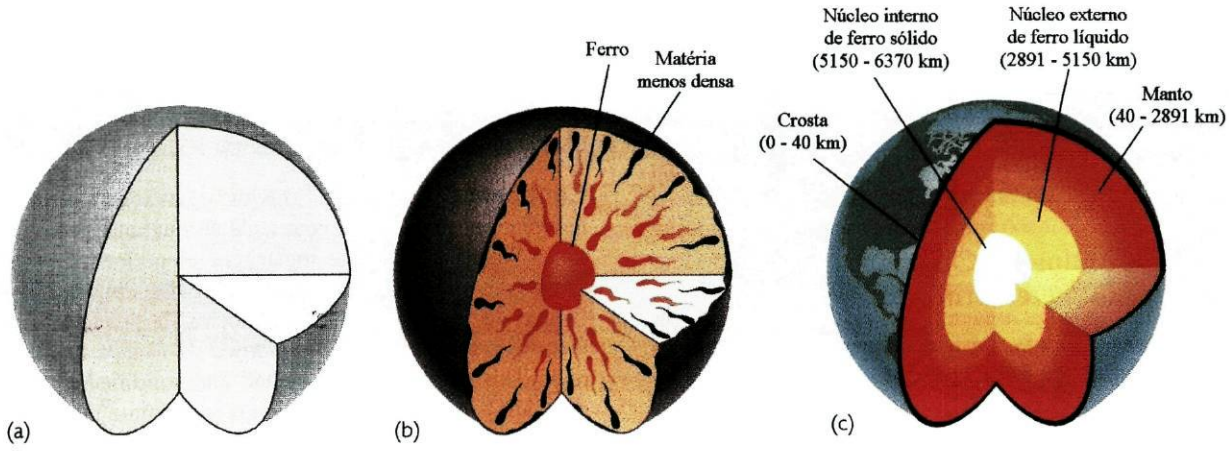


Fig. 5- Diferenciação do planeta Terra (PRESS e SIEVER, 2001)

Outra das teorias, também muito aceite, sugere que as características dos planetesimais e outros materiais que contribuíram para o crescimento do planeta não foram uniformes ao longo do tempo. Esta teoria, designada por teoria do incremento heterogéneo, sugere que os materiais da manta da Terra apareceram depois dos do centro e que uma camada fina libertada por uma classe de meteoritos conhecidos como condritos carbonáceos é a responsável pelos elementos leves da crosta (SCHLESINGER, 1997).

Apesar de ambas as teorias reconhecerem que o nosso planeta foi muito quente durante a sua história primitiva, a teoria do incremento heterogéneo não requer uma completa

fusão e reorganização da Terra para diferenciar o centro, da manta e da crosta (SCHLESINGER, 1997).

Formação dos continentes e oceanos

O crescimento dos continentes teve início há cerca de 4000 milhões de anos e caracteriza-se por uma taxa de crescimento mais elevada, entre 2500 e 1500 milhões de anos. Nos últimos 500 milhões de anos, estes atingiram uma situação estacionária e desde então a massa total dos continentes manteve-se constante (Fig. 6). Ocorrendo formação e destruição simultâneas em proporções equivalentes (SILVA [*et al.*], 1997).

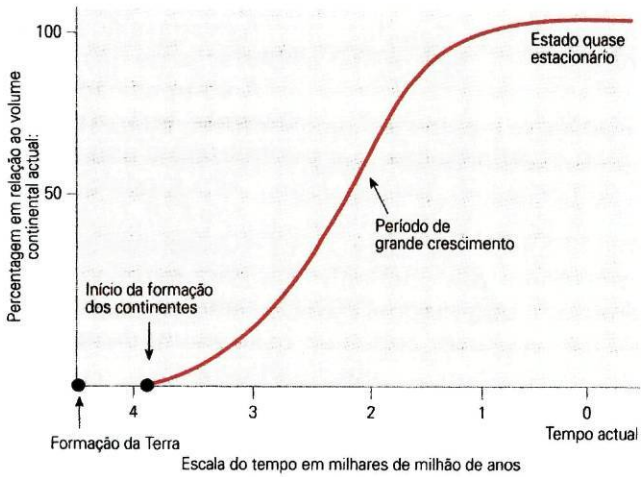


Fig. 6- Curva de crescimento dos continentes reconstruída a partir de dados fornecidos por elementos radioactivos presentes em rochas magmáticas (SILVA [*et al.*], 1997)

Apesar de não existir ainda certeza relativamente ao modo como se formaram os continentes, supõe-se que a lava ao fluir da parte fundida interna da Terra, espalhou-se à superfície e ao solidificar formou uma fina crosta. Esta crosta primitiva, ao fluir e solidificar repetidas vezes, permitiu a separação gradual dos componentes menos densos que se distribuíram à superfície. Estes, expostos posteriormente à acção das chuvas, à variação da temperatura e dos constituintes mais reactivos da atmosfera, foram fragmentados e alterados, originando as áreas continentais primitivas que cresceram com a continuação do processo (SILVA [*et al.*], 1997).

Na Terra primitiva, ainda com a crosta recém-formada muito quente, surgiram inúmeros fenómenos de vulcanismo. Por todas as fissuras havia para além de derrame de lava, libertação de grandes quantidades de gases. Um desses era o vapor de água que por

condensação, com o arrefecimento, deu origem a abundantes chuvas, que ao caírem sobre o planeta já arrefecido, acumularam-se criando os oceanos primitivos (SILVA [*et al.*], 1997).

Formação da atmosfera

No que se refere à atmosfera, apesar de restarem poucas dúvidas de que a atmosfera primitiva era muito diferente comparativamente com a actual, existem ainda diversas explicações sobre a sua formação e constituição. Neste trabalho, vamos abordar apenas o modelo clássico da constituição da atmosfera primitiva.

De acordo com este modelo, a atmosfera teve origem na libertação de gases no interior do planeta. Este processo ao qual se deu o nome de desgaseificação, fez parte do processo de diferenciação, referido anteriormente. Admite-se que a atmosfera primitiva terá sido próxima da mistura emitida actualmente pelos vulcões, mas com menor quantidade de oxigénio e maior quantidade de hidrogénio. Esta teria então um carácter redutor ou neutro, ao contrário da atmosfera actual que apresenta características oxidantes.

Em termos de constituição pensa-se que seria uma mistura de metano (CH_4), amoníaco (NH_3), vapor de água (H_2O) e hidrogénio (H_2). Teria ainda, embora em proporções ainda indeterminadas, monóxido ou dióxido de carbono (CO, CO_2), azoto (N_2), sulfureto de hidrogénio (H_2S) e dióxido de enxofre (SO_2) (SILVA [*et al.*], 1997).

De acordo com este modelo são várias as razões para acreditarmos que a atmosfera primitiva não possuía oxigénio (O_2), de entre as quais podemos salientar a possível reacção deste com o hidrogénio (H_2), o metano (CH_4), o monóxido de carbono (CO), o amoníaco (NH_3) e ainda alguns materiais com número de oxidação baixo da crosta nomeadamente o ferro (II) de certos minerais.

Na Fig. 7 surge esquematicamente a evolução da atmosfera terrestre:

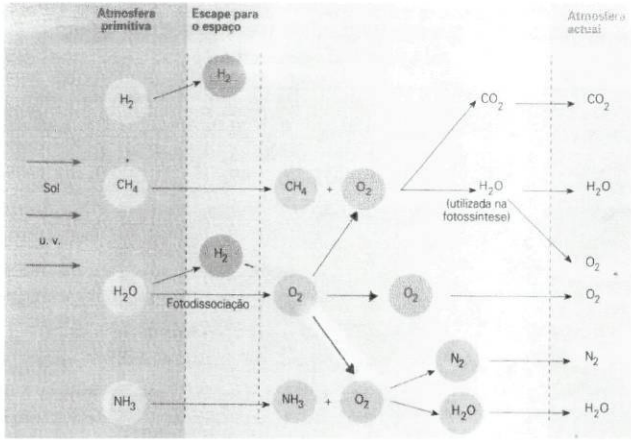


Fig. 7- Evolução da atmosfera terrestre (SILVA [*et al.*], 1997)

Há 4000 milhões de anos, quando a atmosfera era ainda muito pobre em oxigénio, algumas células desenvolveram a capacidade de aproveitar a energia solar e sintetizar, a partir da água (H_2O) e do dióxido de carbono (CO_2), nova matéria orgânica (Fig. 8). Este processo designado por fotossíntese, foi a base de todo o desenvolvimento da vida, uma vez que um dos seus resultados era a produção de oxigénio (SILVA [*et al.*], 1997).



Fig. 8- As cianobactérias contam-se entre os poucos organismos antigos responsáveis pela fotossíntese. Podem viver em colónias compostas por mil milhões de indivíduos, formando depósitos de carbonato de cálcio, designados por estromatólitos, que atingem os 10 metros de largura. Os primeiros vestígios destas estruturas remontam a três milhões de anos atrás (COUTINHO, 2003).

Como se representa na Fig. 9, a actividade destes organismos fotossintéticos provocou uma mudança radical na constituição da atmosfera terrestre, que com o tempo se foi enriquecendo em oxigénio. Porém, como a radiação ultravioleta que atingia a crosta era de elevada energia uma parte deste oxigénio atmosférico transformou-se em ozono (O_3).

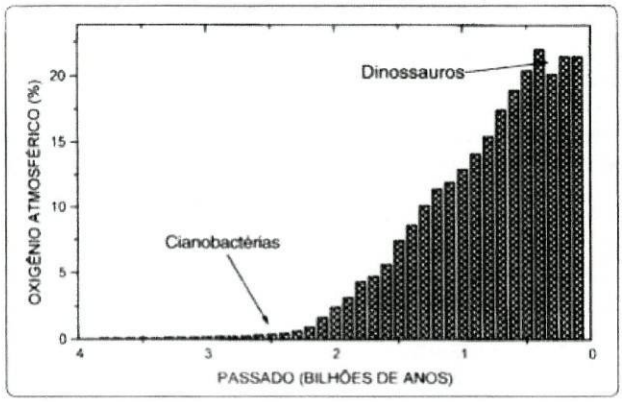


Fig. 9- Mudança da atmosfera terrestre devido à acumulação de oxigénio produzido pelas cianobactérias (COUTINHO, 2003)

Há que referir que o primeiro oxigénio biológico gerado na Terra ficou ainda nos sedimentos. Só há cerca de 1000 milhões de anos, começou a acumular-se na atmosfera, de tal forma que esta deixou de ser redutora ou neutra, para passar a ser oxidante.

Por mais 500 milhões de anos, os organismos viveram evitando este ambiente oxidante, adaptando-se bioquimicamente a essa nova realidade através da produção de enzimas protectoras de espécies altamente reactivas, como os radicais oxigenados. Na bioquímica estas espécies são conhecidas por "ROS".

Enquanto isso, a concentração do oxigénio (O_2) aumentava na troposfera, obrigando o ozono (O_3) a ficar cada vez mais distante da crosta, criando-se progressivamente na estratosfera uma "Camada de Ozono". Esta camada sequencialmente foi-se tornando mais espessa, constituindo-se numa barreira protectora para a vida, na medida em que retinha grande parte da radiação ultravioleta que era nociva.

Quando esta camada apresentou uma espessura mínima deu-se efectivamente a conquista das áreas continentais pelos seres vivos, que até aí apenas podiam viver sob uma camada protectora de água (JARDIM, 2003).

Ainda hoje esta "camada de ozono" constitui a "barreira" protectora vital limitando a passagem da radiação ultravioleta.

Neste trabalho apresentam-se diferentes metodologias de abordagem dos problemas associados à "Diminuição da Espessura da camada de ozono" (cap. 5) na medida em que este tema apresentará um lugar de destaque nos programas da nova organização curricular (cap. 2).

3.2. A atmosfera

3.2.1. O modo de exprimir as quantidades dos constituintes da atmosfera

A razão de mistura em química atmosférica é definida pela razão entre a quantidade (ou massa) de uma substância num dado volume e a quantidade (ou massa) de todos os constituintes nesse mesmo volume. Nesta definição, para uma substância gasosa a soma de todos os constituintes corresponde a todas as substâncias gasosas, incluindo o vapor de água, contudo não são contabilizadas as partículas ou vapor de água condensado. Assim a razão de mistura é apenas a fracção da quantidade (massa) total que corresponde à substância de interesse (SEINFELD e PANDIS, 1998).

Ou seja, a razão de mistura em volume para uma espécie i é:

$$\xi_i = \frac{c_i}{c_{total}} \qquad \text{eq. 1}$$

onde ξ_i representa a razão de mistura, c_i a concentração molar e c_{total} a concentração molar total do ar.

A partir da lei dos gases ideais a concentração molar total para um ponto qualquer da atmosfera é: $c_{total} = \frac{n}{V} = \frac{p}{RT}$. eq. 2

Assim sendo, a razão de mistura e a concentração molar estão relacionadas por:

$$\xi_i = \frac{c_i}{\frac{p}{RT}} = \frac{\frac{p_i}{RT}}{\frac{p}{RT}} = \frac{p_i}{p} \qquad \text{eq. 3}$$

onde p_i é a pressão parcial de i.

Segundo a lei dos gases ideais a concentração (mol/m^3) depende da pressão e da temperatura. Logo, as razões de mistura, que são apenas fracções molares, são por conseguinte mais apropriadas do que as concentrações para exprimir a abundância das espécies no ar, principalmente quando estão envolvidas variações de espaço e de tempo (SEINFELD e PANDIS, 1998).

Assim é comum usar-se em química da atmosfera as seguintes unidades:

Partes por milhão (ppm)	10^{-6}	$\mu mol\ mol^{-1}$
Partes por bilião (ppb)	10^{-9}	$nmol\ mol^{-1}$
Partes por trilião (ppt)	10^{-12}	$pmol\ mol^{-1}$

Todavia, há que alertar que esta correspondência apenas é válida para as línguas germânicas, pois se analisarmos a Tabela 1 facilmente constataremos a diferença de designação que existe para com as línguas românicas (por exemplo: português).

Tabela 1- Diferença de designação dos valores 10^3, 10^6,10^9 e 10^{12} entre as línguas germânicas e as românicas

Valor	Designação	
	Línguas germânicas	**Línguas românicas**
10^3	Milhar	Milhar
10^6	Milhão	Milhar de milhar
10^9	Bilião	Milhão
10^{12}	Trilião	Milhar de milhão

3.2.2. O estudo da química da atmosfera

O estudo da química da atmosfera provavelmente começou no século XVIII quando os químicos Joseph Priestley, Antoine-Laurent Lavoisier e Henry Cavendish tentaram determinar os seus componentes químicos. Em grande parte devido aos seus esforços, assim como de alguns químicos e físicos do século XIX, foram identificados como principais constituintes da atmosfera: o azoto (N_2), o oxigénio (O_2), o vapor de água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2) e os gases nobres. Contudo, no final do século XIX e princípio do século XX o interesse passou para a caracterização dos constituintes atmosféricos vestigiais, ou seja, aqueles que apresentam uma fracção molar inferior a 10^{-6} ou 1 ppm (em volume). Tornando-se claro que a atmosfera contêm uma miríade destes gases, podendo a sua origem ser atribuída a processos geológicos, biológicos, químicos e antropogénicos (SEINFELD e PANDIS, 1998).

Com as inovações que se observaram na instrumentação de análise, desde o final do século XX tem sido possível detectar espécies químicas atmosféricas em concentrações na gama das partes por trilião (ppt). Contudo, estas observações têm demonstrado que a composição da atmosfera está a alterar-se numa escala global apresentando poucas

semelhanças com a composição inicial. As medições actuais quando comparadas com as medições efectuadas em bolhas de ar antigas presas nos gelos, demonstram dramáticos aumentos da concentração de alguns gases como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e de várias espécies contendo halogéneos (SEINFELD e PANDIS, 1998).

Deste modo, poder-se-á dizer que a atmosfera actualmente continua a evoluir, mas actividades humanas, com os seus efeitos poluentes, ultrapassam agora a Natureza na determinação das mudanças.

Com o "Jogo da Despoluição", que ainda se encontra em fase de construção será possível ilustrar tal facto.

3.2.3. As camadas da atmosfera

A atmosfera tal como hoje a conhecemos é uma mistura gasosa que envolve o globo terrestre, com uma espessura superior a 1000 km estende-se desde a superfície terrestre até um limite superior indefinido.

É caracterizada por variações de temperatura e pressão com a altitude. No entanto, ao contrário da pressão a temperatura não varia de forma uniforme, como se representa na Fig. 10. Na realidade, as variações do perfil de temperatura média com a altitude estão na base da distinção das diferentes camadas da atmosfera, com diferentes composições em respectivamente: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera (SEINFELD e PANDIS, 1998).

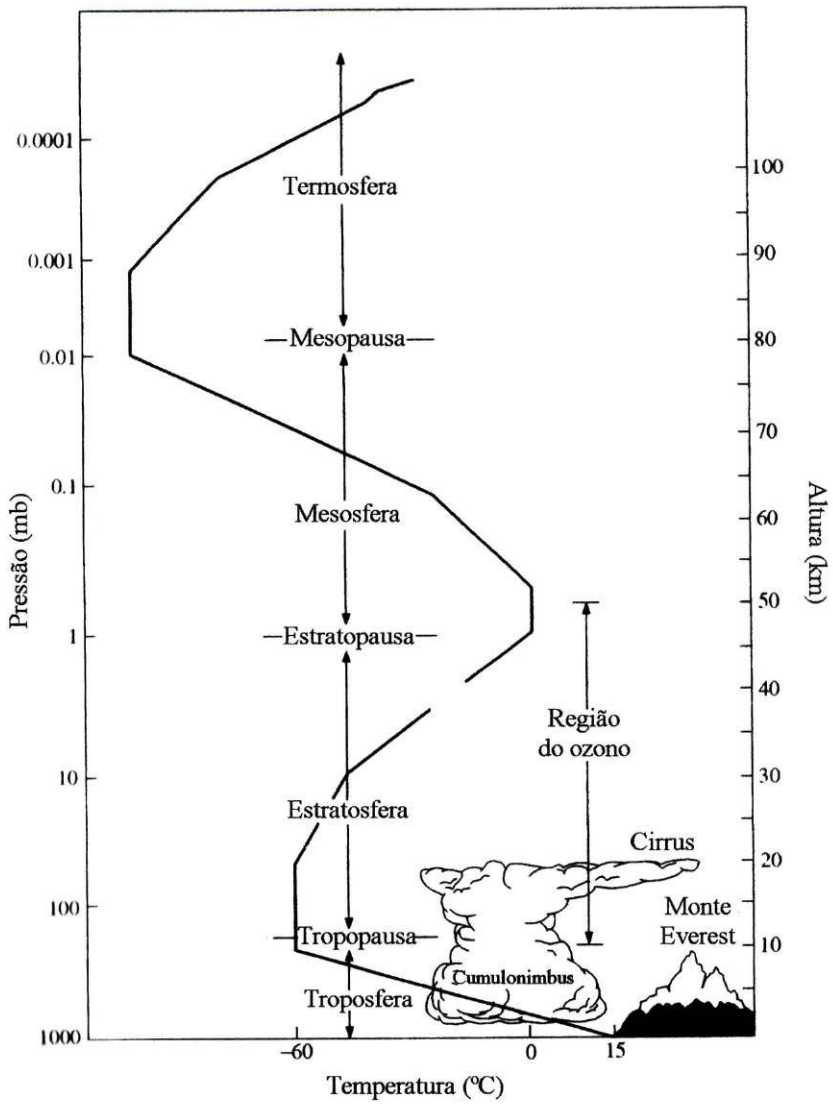


Fig. 10- Estrutura vertical da atmosfera, baseada na variação das características térmicas, em altitude (SCHLESINGER, 1997)

Na Tabela 2 surgem as essenciais características das diferentes camadas da atmosfera:

Tabela 2- Características das diferentes camadas da atmosfera

Camada	Características
Troposfera	- Camada em contacto com a superfície da Terra; - Contém cerca de 75% de massa de ar; - Caracterizada por uma diminuição da temperatura com a altitude, sendo este facto devido à absorção da radiação visível do sol pela superfície da Terra e pelas nuvens; - Apresenta uma mistura vertical rápida; - Nesta camada ocorrem os fenómenos meteorológicos, como por exemplo: chuvas, ventos, relâmpagos, ...
Estratosfera	- Esta camada começa na tropopausa e prolonga-se até à estratopausa (cerca de 45 a 55 km); - Contém apenas 15% da massa do ar; - A temperatura aumenta com a altitude, devido à absorção da radiação ultravioleta pelo ozono, provocando uma baixa mistura vertical.
Mesosfera	- Esta camada começa na estratopausa e prolonga-se até à mesopausa (cerca de 80 e 90 km de altitude); - Quantidade de ar estimada na ordem dos 0,02%; - Nesta camada a temperatura diminui com a altitude até à mesopausa (zona mais fria da atmosfera); - Apresenta uma mistura vertical rápida; - Nesta camada a densidade do ar é muito baixa assim como a sua actividade química.
Termosfera	- Esta camada encontra-se acima da mesopausa; - Caracterizada por temperaturas relativamente elevadas em consequência da absorção de radiação de baixo comprimento de onda por moléculas de azoto e oxigénio; - Possui uma mistura vertical rápida; - Nesta camada a densidade do ar é muito baixa, mas a actividade química é elevada.
Exosfera	- Esta é a zona mais extensa da atmosfera que se estende desde os 500 km de altura até uma distância indeterminada onde começa o espaço cósmico; - Nesta camada as moléculas de gás com energia suficiente podem escapar à força gravítica da Terra.

3.2.4. A composição da atmosfera que respiramos

Apesar da sua aparente natureza estática, a atmosfera que respiramos é na realidade um sistema dinâmico, com os seus constituintes gasosos continuamente a permutarem com a vegetação, os oceanos e os organismos vivos.

Estes constituintes gasosos são produzidos por processos químicos dentro da atmosfera, pela actividade biológica, por processos industriais, pelas emissões vulcânicas e pelo decaimento radioactivo e removidos desta por reacções químicas na atmosfera, pela actividade biológica, por processos físicos (por exemplo, formação de partículas) e por deposição nos oceanos e na terra (SEINFELD e PANDIS, 1998).

Os gases atmosféricos mais importantes são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3- Gases atmosféricos (SEINFELD e PANDIS, 1998)

Gás	M (g/mol)	Razão de mistura (ppm)	Ciclo
Ar	39,940	9340	Nenhum
Ne	20,179	18	
Kr	83,80	1,1	
Xe	131,30	0,09	
N_2	28,013	780,840	Biológico e microbiológico
O_2	32	209,460	
CH_4	16,043	1,72	Biogénico e químico
CO_2	44,010	355	Antropogénico e Biogénico
CO	28,010	0,12 (NH) 0,06 (SH)	Antropogénico e químico
H_2	2,016	0,58	Biogénico e químico
N_2O	44,012	0,311	Biogénico e químico
SO_2	64,06	10^{-5}-10^{-4}	Antropogénico, biogénico e químico
NH_3	17	10^{-4}-10^{-3}	Biogénico e químico
NO	30,006	10^{-6}-10^{-2}	Antropogénico, biogénico e químico
NO_2	46,006		
O_3	48	10^{-2}-10^{-1}	Químico
H_2O	18,015	variável	Físico-químico
He	4,003	5,2	

Ao longo deste trabalho existem duas espécies de oxigénio que adquirem um papel essencial. Essas espécies são o átomo e a molécula de oxigénio (O e O_2). (ver 3.3.2)

A descoberta do oxigénio ocorreu independentemente há cerca de 200 anos por Scheele e Priestly, sendo mesmo considerada como um ponto de viragem no desenvolvimento de alguns conceitos químicos (RANBY e RABEK, 1976).

O átomo de oxigénio

O átomo oxigénio (O) possui número atómico 8 e apresenta os seus electrões distribuídos por várias orbitais. No caso particular, do estado de menor energia, o preenchimento das orbitais obedece a 3 regras (LEE, 1977):

- Os electrões começam por ocupar as orbitais de menor energia;
- Quando existem várias orbitais com a mesma energia, os electrões não são emparelhados enquanto isso puder ser evitado: Regra de Hund;
- Num átomo não pode haver dois electrões com os mesmos quatro números quânticos: Princípio da exclusão de Pauli.

Assim sendo, a configuração electrónica do átomo de oxigénio no seu estado de menor energia é $1s^2 2s^2 2p_x^2 p_y^1 p_z^1$, ou seja [He] $2s^2 2p_x^2 p_y^1 p_z^1$. O que significa que existem electrões desemparelhados na sua camada de valência. A orbital 2s acomoda dois electrões, ficando completa com um dupleto (dois electrões de *spin* anti-paralelo), distribuindo-se os outros 4 electrões pelas três orbitais 2p, de acordo com a regra de Hund e com o Princípio da Exclusão de Pauli, o que obriga a preencher uma das orbitais, surgindo um dupleto e a semi-preencher duas das outras com os electrões com *spins* paralelos (Fig. 11).

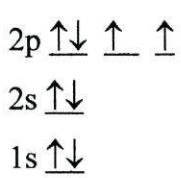


Fig. 11- Diagrama de níveis de energia da orbital atómica do átomo de oxigénio, na sua forma paramagnética.

Contudo, há mais configurações electrónicas possíveis, embora não correspondam ao estado de menor energia. Uma dessas possibilidades resulta do semi-preenchimento de duas das orbitais 2p com os electrões com *spins* opostos, como se verifica no diagrama da Fig. 12 (a).



Fig. 12 - Diagrama de níveis de energia do átomo de oxigénio nas das duas formas diamagnéticas possíveis

Outra das possibilidades surge quando duas das três orbitais p são completamente preenchidas, surgindo dois dupletos e uma orbital vazia, tal como se representa na Fig. 12 (b).

Quando se pretende determinar estados energéticos das diferentes configurações electrónicas, é preciso determinar todas as possibilidades na ocupação das orbitais como sejam com: *spins* paralelos, *spins* opostos ou formação de dupletos.

No caso do átomo de oxigénio, existem quatro electrões no nível p, o que faz com que surjam vários arranjos electrónicos possíveis. Mesmo as orbitais p tendo a mesma energia, os electrões presentes interagem resultando daí a formação de um estado fundamental (energia mais baixa) e um ou mais estados excitados para um mesmo átomo. Pois, além da repulsão electrostática existente entre os electrões, estes interagem uns com os outros quer por (LEE, 1977): interacção ou acoplamento dos campos magnéticos produzidos pelos seus *spins*, quer por acoplamento dos campos produzidos pelo movimento orbital dos electrões (Momento orbital angular).

Assim sendo, quando diversos electrões ocupam um mesmo subnível, os estados energéticos obtidos dependem da resultante dos números quânticos orbitais angulares de cada um dos electrões. Esta resultante de todos os valores de l é designada por um novo número quântico L, que define o estado energético do átomo

L	0	1	2	3	4	...
Estado	S	P	D	F	G	...

Em termos de representação, qualquer termo de energia para um estado energético de um electrão surge como:

$$^{2S+1}L_J$$

em que:

- O índice superior esquerdo indica a multiplicidade e apresenta o valor 2S+1 – Se num mesmo subnível existirem dois ou mais electrões, os campos magnéticos produzidos interagem uns com os outros, ou seja, ocorre um "acoplamento" surgindo por isso um número quântico de *spin* resultante, S (LEE, 1977).

Na Tabela 4, vê-se a relação entre o número de electrões desemparelhados, o *spin* resultante S e a multiplicidade.

Tabela 4- Relação entre o número de electrões desemparelhados, o *spin* resultante e a multiplicidade (LEE, 1977)

Electrões desemparelhados	S	Multiplicidade	Nome do estado
0	0	1	Singleto
1	1/2	2	Dupleto
2	1	3	Tripleto
3	3/2	4	Quarteto
4	2	5	Quinteto

- O índice inferior direito indica o número quântico total J – Quando um mesmo subnível contém vários electrões, o efeito total dos momentos angulares orbitais individuais l é dado pelo número quântico total angular L, e o efeito total dos *spins* individuais m_s é dado pelo número quântico resultante S. Contudo, num átomo, os efeitos magnéticos de L e S podem interagir ou "acopolar-se" surgindo daí um novo número quântico J designado por momento angular total, que resulta da soma vectorial de L e S (LEE, 1977).

A molécula de oxigénio

O oxigénio molecular (O_2) é um gás incolor e inodoro que se condensa num líquido azul pálido. Como apresenta baixa massa molar e forma moléculas apolares, possui baixo ponto de fusão e de ebulição (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002).

Atendendo à posição do átomo de oxigénio na tabela periódica e ao facto de apresentar em comparação com os outros elementos a segunda maior electronegatividade, a molécula de oxigénio é um agente oxidante muito forte. Muitas substâncias reagem exotermicamente com esta molécula, embora seja requerida com frequência uma energia de activação elevada. Esta barreira energética para muitas reacções que envolvem a molécula de oxigénio é uma situação

particularmente invulgar para moléculas pequenas e estáveis, que surge como uma consequência do esquema das orbitais moleculares.

A partir da Fig. 13 constatamos que a ordem de ligação do oxigénio molecular é 2 (6 electrões ligantes e 2 electrões antiligantes), e que os dois electrões antiligantes possuem *spins* paralelos. Esta molécula é portanto paramagnética e designa-se por oxigénio tripleto ($^3O_2$) (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002).

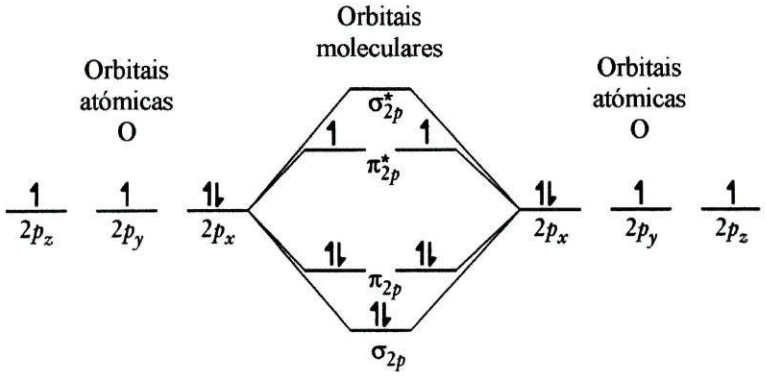


Fig. 13- Diagrama de níveis de energia da orbital molecular mostrando a combinação das orbitais atómicas 2p na molécula de oxigénio (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002)

Todavia, um aumento de energia de apenas 95 kJ/mol é suficiente para causar transição de um dos electrões antiligantes, emparelhando-o com o outro electrão antiligante, numa mesma orbital molecular π^*_{2p} (Fig. 14). Esta forma emparelhada de *spin* (diamagnético) do oxigénio molecular representa-se por $^1O_2$ ($^1\Delta$) e designa-se de oxigénio singleto. No entanto, em poucos minutos ou segundos, dependendo quer da concentração quer do ambiente esta espécie converte-se na forma paramagnética. (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002).

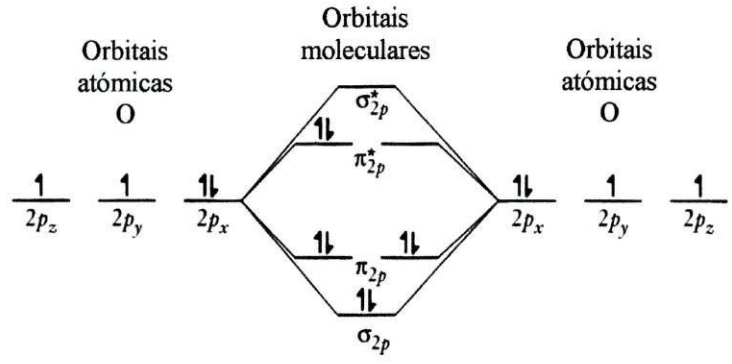


Fig. 14- Diagrama de níveis de energia da orbital molecular mostrando a combinação das orbitais atómicas 2p na forma mais comum das duas formas diamagnéticas da molécula de oxigénio (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002)

O oxigénio molecular diamagnético é um reagente importante na química orgânica e forma produtos diferentes da forma paramagnética. Há que referir ainda, atendendo ao contexto deste trabalho que o oxigénio diamagnético formado pela radiação ultravioleta, tem estado implicado na indução de muitos casos de cancro de pele (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002).

Existe ainda uma segunda forma de singleto do oxigénio molecular no qual o *spin* de um electrão é simplesmente invertido, resultando daí electrões não emparelhados com *spins* opostos, em orbitais moleculares diferentes (Fig. 15). No entanto, esta forma de oxigénio singleto, representada por $^1O_2$ ($^1\Sigma$), para ser conseguida requer muito mais energia, cerca de 158 kJ/mol (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002).

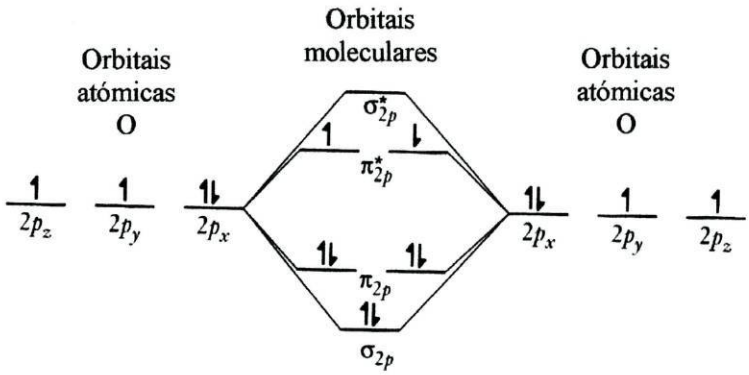


Fig. 15- Diagrama de níveis de energia da orbital molecular mostrando a combinação das orbitais atómicas 2p na forma menos comum das duas formas diamagnéticas da molécula de oxigénio (RAYNER-CANHAM e OVERTON, 2002)

3.3. A química da estratosfera

A estratosfera é a região do espaço entre aproximadamente os 10 km e os 50 km (Fig. 10) à volta da superfície da Terra. Esta camada é distinta das vizinhas pois nela ocorre aumento da temperatura com a altitude, devendo-se este aumento essencialmente à absorção da radiação ultravioleta pelas moléculas de ozono (O_3).

Esta camada é semelhante à troposfera nos seus principais gases constituintes, mas a elevada energia da radiação nesta região conduz a reacções diferentes daquelas que são encontradas próximo da superfície da Terra. A mais importante dessas reacções é relativa à síntese e à decomposição de ozono (VANLOON e DUFFY, 2000). Posteriormente este mecanismo será abordado com mais pormenor (cap. 3.3.2).

3.3.1. O ozono e a radiação ultravioleta

O ozono foi descoberto no século XIX, mas a sua importância como gás atmosférico tornou-se aparente no início do século XX quando se efectuaram as primeiras medições quantitativas da espessura da camada de ozono (Fig. 16).

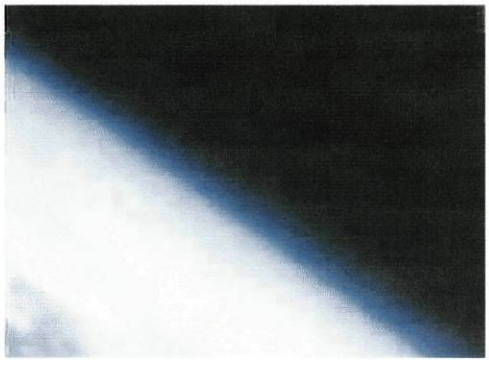


Fig. 16- Camada de ozono que se encontra na estratosfera (NATURALEZA EDUCATIVA, 2003)

Este gás existe naturalmente ao longo da atmosfera, é azul-escuro, venenoso e apresenta um odor distinto. A própria palavra ozono, provém do grego *ozein*, significa mau cheiro (WEINER, 1991).

Na abordagem desta problemática aos alunos no nosso protótipo multimédia, o ozono surge representado por uma mascote " O ar puro" (Fig. 17).

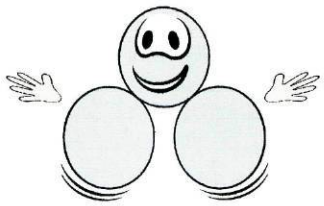


Fig. 17- Mascote usada para representar a molécula de ozono aos alunos

O ozono apesar de estar presente em reduzida quantidade, os seus efeitos não podem ser desprezados. Quando se acumula na troposfera em concentrações elevadas pode originar problemas respiratórios e irritação ocular nos animais, além de um efeito corrosivo em diversos materiais. Misturado com outros gases e partículas é responsável pela formação do nevoeiro fotoquímico que cobre os grandes centros urbanos e industriais, resultado da poluição atmosférica, este fenómeno é designado por smog fotoquímico. Porém, este gás acumula-se principalmente na estratosfera numa zona com cerca de 15 km de espessura, designada por "camada de ozono" (REIS, 2002). Como já foi referido, é aqui que ele desempenha o papel de escudo protector, de filtro a favor da vida, ao absorver grande parte (mais de 95%) da radiação ultravioleta que de outro modo atingiria a Terra (EST, 2002).

Numa classificação baseada em parâmetros biológicos, a radiação ultravioleta pode ser subdividida em três categorias: o ultravioleta A (UV-A), o ultravioleta B (UV-B) e o ultravioleta C (UV-C), como se constata na Tabela 5 (VANLOON e DUFFY, 2000):

Tabela 5- Classificação da radiação ultravioleta (VANLOON e DUFFY, 2000)

Tipo de radiação	% do fluxo total	Comprimento de onda (nm)
UV-A	7	315 a 400
UV-B	1,5	280 a 315
UV-C	0,65	menor do que 280

A radiação UV-C é potencialmente a mais perigosa. Dizemos potencialmente, porque o pequeno fluxo que penetra na atmosfera superior é eficientemente e completamente absorvido pelo ozono, assim como por outras espécies atmosféricas antes de atingir a superfície da Terra.

Por sua vez, a radiação UV-A apresenta um perigo superior, pois não é absorvida pela atmosfera a não ser por dispersão das moléculas e partículas. Ao apresentar grande poder de

penetração na pele, causa danos nas fibras de cologénio e elásticas das camadas profundas da epiderme e da derme promovendo assim o foto envelhecimento.

Porém, a radiação UV mais importante é sem dúvida, a UV-B. Apesar de grande parte dela ser absorvida na estratosfera pelo ozono, mesmo a pequena quantidade que atinge a superfície da Terra pode ter efeitos prejudiciais. Esta radiação, ao contrário da anterior, que mantém uma intensidade constante durante todo o ano, apresenta uma incidência maior durante o Verão, especialmente entre as 10 e 16 horas (Fig. 18).



Fig. 18- Local propício para exposição prolongada à radiação ultravioleta (REIS, 2002)

Para percebermos realmente a importância da camada de ozono, em relação à protecção da radiação ultravioleta basta estarmos conscientes que a exposição prolongada a esta radiação pode ter várias consequências.

A radiação ultravioleta afecta as defesas imunológicas dos animais, incluindo o Homem, permitindo o desenvolvimento de doenças infecciosas. Pode também ser a causa do desenvolvimento de diversos tipos de carcinomas devido à supressão de respostas locais e sistémicas a uma grande variedade de antigenes.

A Agência Norte-Americana de Protecção Ambiental chega mesmo a prever que a redução de apenas 1% na espessura da camada de ozono é suficiente para desencadear um aumento de 5% no número de casos de cancro de pele (Fig. 19) e cegar 100 mil pessoas por cataratas (REIS, 2002).



Fig. 19- Manifestação visível de um carcinoma (REIS, 2002)

No entanto, em quantidades adequadas (muitíssimo pequenas), estas radiações são salutares, contribuindo para a produção de vitamina D, indispensável ao normal desenvolvimento dos ossos (EST, 2002).

Mas os seres humanos não são os únicos afectados pela radiação ultravioleta, a sua intensificação interfere em muitos processos biológicos e químicos dos ecossistemas terrestres. As alterações provocadas por este tipo de radiação relacionam-se com modificações nas células dos organismos a nível do material genético, o que se traduz na perturbação de diversas funções como o metabolismo e a produção de biomassa.

Porém, mais do que alterarem organismos, estas radiações alteram as relações entre eles, nomeadamente as relações de competição entre as plantas superiores, a extensão da herbivoria pelos insectos e a susceptibilidade a elementos patogénicos, quer na agricultura (Fig. 20), quer em ambiente natural. Acredita-se mesmo que níveis elevados desta radiação podem diminuir a produção agrícola, com a consequente redução na produção alimentar (REIS, 2002).



Fig. 20- Região de produção agrícola (REIS, 2002)

Reconhece-se também, embora não se tenha noção da extensão de tais alterações que a intensificação da radiação ultravioleta afecta os microorganismos. Este é um fenómeno

preocupante, já que estes participam em tarefas de extrema importância em termos ecológicos, como a decomposição de resíduos, intervindo no ciclo dos nutrientes e interagindo com plantas e animais na forma de agentes patogénicos ou simbióticos.

Do mesmo modo, a intensificação destas radiações coloca problemas inquietantes, nos ecossistemas aquáticos, pois interfere no crescimento, na fotossíntese e na reprodução do plâncton. Há que não esquecer que são estas plantas e animais microscópicos que se encontram na base das cadeias alimentares e que são responsáveis por grande parte da produtividade de oxigénio do planeta e da absorção do dióxido de carbono, actuando como um tampão em relação ao aquecimento global do planeta.

Ao intervir em todas as escalas dos ecossistemas, a radiação ultravioleta afecta igualmente os ciclos biogeoquímicos, como o ciclo do carbono, do azoto e o ciclo dos nutrientes minerais, entre outros, lesando globalmente toda a biosfera do planeta (REIS, 2002).

Na realidade, a camada de ozono pode então ser considerada como uma membrana invisível entre a Terra e o Sol. Membrana essa que tem a propriedade de absorver dos fotões solares aquilo a que se chama o ultravioleta, pois possui moléculas que podem agir como centros de absorção, moderando a transmissão da radiação solar. O efeito qualitativo e quantitativo deste fenómeno é então como já referimos um factor determinante em relação aos processos de vida.

Este facto é demonstrado aos alunos que usufruem das diferentes abordagens propostas, ainda que de maneiras diferentes, através da utilização de diferentes elementos que protegem da radiação ultravioleta.

3.3.2. Mecanismo de Chapman

Em 1930, o cientista inglês Sydney Chapman, propôs um mecanismo fotoquímico, para explicar a produção e destruição do ozono na estratosfera, o denominado Mecanismo de Chapman.

Este mecanismo é apresentado, de forma opcional, no protótipo multimédia. Porém como é de compreender atendendo ao público-alvo não é feito um estudo tão pormenorizado como aquele que se segue (VANLOON e DUFFY, 2000).

Estudo termodinâmico do Mecanismo de Chapman

A formação de ozono na estratosfera ocorre a cerca de 30 km de altitude e inicia-se com a dissociação do oxigénio molecular (O_2), de acordo com a seguinte equação:

$O_2 + h\upsilon \rightarrow O + O$ lenta eq. 4

Esta reacção fotoquímica é lenta e resulta na produção de duas espécies de oxigénio impares – isto é, espécies que contêm um número impar de átomos de oxigénio, neste caso 1. É possível sabermos qual é o comprimento de onda da radiação que possui energia para induzir esta reacção. Assumindo que a variação de entalpia é independente da temperatura, a quantidade de energia necessária para este processo ocorrer é:

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}(\text{reacção 4}) &= 2 \times \Delta H_f^{\circ}(O(g)) - \Delta H_f^{\circ}(O_2(g)) \\ &= 2 \times 249{,}2 - 0 \\ &= 498{,}4\ \text{kJmol}^{-1}\end{aligned}$$

Assim sendo, a formação de 2 mol de oxigénio atómico (O) a partir de 1 mol de oxigénio molecular (O_2) requer 498,4kJ de energia, o que implica que o comprimento de onda da luz associada a esta quantidade de energia seja:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{hcN_A}{E} \\ &= \frac{6{,}626 \times 10^{-34}\ \text{Js} \times 2{,}998 \times 10^{8}\ \text{ms}^{-1} \times 10^{9}\ \text{nm m}^{-1} \times 6{,}022 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}}{498400\ \text{Jmol}^{-1}} \\ &= 240{,}0\ \text{nm}\end{aligned}$$

O átomo de oxigénio, que surge da reacção anterior, reage por sua vez com uma molécula de oxigénio para formar ozono, na presença de uma terceira molécula, representada por M. Esta espécie M, normalmente são moléculas de azoto (N_2) ou oxigénio molecular (O_2), pois são espécies predominantes na estratosfera.

$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$ rápida eq. 5

Neste caso a variação de entalpia é:

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}(\textit{reacção 5}) &= \Delta H_f^{\circ}(O_3(g)) - \Delta H_f^{\circ}(O(g)) - \Delta H_f^{\circ}(O_2(g)) \\ &= 142{,}7 - 249{,}2 - 0 \\ &= -106{,}5\ \text{kJmol}^{-1}\end{aligned}$$

Em termos práticos, esta reacção é a única que produz ozono na atmosfera.

Porém, o mecanismo de Chapman não termina aqui, a molécula de ozono ao absorver radiação ultravioleta converte-se rapidamente em oxigénio atómico (O) e oxigénio molecular (O_2):

$$O_3 + h\upsilon \rightarrow O + O_2 \qquad \text{rápida} \qquad \text{eq. 6}$$

Ao analisarmos a equação 6, pode-nos parecer ser o inverso da 5. No entanto, com uma análise mais cuidada concluímos serem totalmente diferentes. Quando o ozono é fotodissociado, e atendendo à teoria da conservação do spin, os produtos oxigénio molecular e oxigénio atómico devem estar ambos em estados fundamentais (tripletos) ou excitados (singleto) (cap. 3.2.4).

A formação do estado fundamental destas duas espécies requer uma energia de apenas 106,5 $kJmol^{-1}$ (o cálculo é análogo ao da eq. 4, o que corresponde a um comprimento de onda de 1123 nm, o qual se situa na região do IV). Por outro lado, a formação das duas espécies excitadas, $^1O_2$ ($^1\Delta$) e O (^1D) requer uma energia diferente. Atendendo a que as energias de excitação do oxigénio molecular e do oxigénio atómico são aproximadamente 90 e 190 $kJmol^{-1}$ a entalpia da reacção é:

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}(\text{reacção}6) &= \Delta H_f^{\circ}(O(g)) + E_e(O) + \Delta H_f^{\circ}(O_2(g)) + E_e(O_2) - \Delta H_f^{\circ}(O_3(g)) \\ &= 249{,}2 + 190 + 0 + 90 - 142{,}7 \\ &= 387\ kJmol^{-1}\end{aligned}$$

A esta energia corresponde um comprimento de onda de 309 nm. Assim sendo, esta é a reacção que efectivamente protege a Terra da perigosa radiação ultravioleta, porque é apenas a radiação com comprimento de onda entre 309 e 200 nm que possui energia energia suficiente para decompor o ozono, evitando assim que esta radiação chegue à superfície da Terra. Ou seja, é esta absorção com a consequente decomposição do ozono que protege a Terra da radiação UV.

Além destas reacções existe ainda uma outra, pois o ozono pode reagir com o oxigénio atómico regenerando duas moléculas de oxigénio, contudo este é um processo exotérmico ($\cong$ - 400 $kJmol^{-1}$) e lento na estratosfera, devido à elevada energia de activação (18 $kJmol^{-1}$).

$O_3 + O \rightarrow O_2 + O_2$ lenta eq. 7

Estudo cinético do Mecanismo de Chapman

Atendendo ao mecanismo referido anteriormente, traduzido pelas equações 4, 5, 6 e 7 podemos dizer que os diferentes passos se processam às seguintes velocidades (SEINFELD e PANDIS, 1998):

$$v_4 = k_{O_2}[O_2] \quad \text{eq. 8}$$

$$v_5 = k_5[O][O_2][M] \quad \text{eq. 9}$$

$$v_6 = k_{O_3}[O_3] \quad \text{eq. 10}$$

$$v_7 = k_7[O_3][O] \quad \text{eq.11}$$

Assim sendo, a velocidade de formação global de O_3 é,

$$\frac{d[O_3]}{dt} = k_5[O][O_2][M] - k_{O_3}[O_3] - k_7[O_3][O] \quad \text{eq. 12}$$

e o balanço dos átomos de oxigénio:

$$\frac{d[O]}{dt} = 2k_{O_2}[O_2] - k_5[O][O_2][M] + k_{O_3}[O_3] - k_7[O_3][O] \quad \text{eq. 13}$$

Após o átomo de oxigénio ter sido formado na reacção 4, as reacções 5 e 6 prosseguem rapidamente e como resultado dessa rapidez estas duas reacções rapidamente interconvertem oxigénio atómico (O) e ozono (O_3). Assim sendo, é útil pensamos na soma destas espécies, O e O_3, como uma espécie simples. Esta espécie normalmente é representada por O_x e denomina-se de oxigénio impar. Este, oxigénio impar O_x, é então uma espécie produzida na reacção 4 e gasta na reacção 7.

Quantitativamente, uma vez um átomo de oxigénio (O) produzido em 4, o ciclo das reacções 5 e 6 repete-se inúmeras vezes até que a reacção 7 tenha hipótese de ocorrer. Como

resultado, as velocidades das reacções 5 e 6 excedem largamente as velocidades das reacções 4 e 7 sendo uma boa aproximação considerar que a concentração de átomos de oxigénio atinge um estado estacionário governado pelas reacções 5 e 6, dando origem à seguinte razão:

$$v_5 = v_6$$
$$k_5[O][O_2][M] = k_{O_3}[O_3] \qquad \text{eq. 14}$$
$$\frac{[O]}{[O_3]} = \frac{k_{O_3}}{k_5[O_2][M]}$$

Todavia, há que notar que com o aumento da altitude, a concentração de M diminui, o que implica que a razão $\frac{[O]}{[O_3]}$ se torne maior. Ou seja, a formação de oxigénio atómico (O) é favorecido para maiores altitudes enquanto que a formação do ozono (O_3) é favorecida para altitudes menores. Actualmente, sabe-se que o ozono é a espécie dominante de oxigénio impar para altitudes inferiores a 50 km.

Podemos então pensar, nesta altura, em qual será a concentração do estado estacionário para o ozono que resulta das reacções do Mecanismo de Chapman (reacções de 4 a 7). Como há um ciclo rápido que envolve as reacções 5 e 6, a velocidade de produção do ozono é limitada pela velocidade a que o oxigénio atómico é produzido na 4 e pela velocidade com que o ozono é removido na reacção 7. Uma análise deste estado estacionário para o ozono mostra que:

$$v_4 = v_7$$
$$k_{O_2}[O_2] = k_7[O_3][O] \qquad \text{eq. 15}$$
$$k_{O_2}[O_2] = k_7[O_x]^2$$

ou seja, a concentração de estado estacionário para O_x é:

$$[O_x] = \sqrt{\frac{k_{O_2}[O_2]}{k_7}} \qquad \text{eq. 16}$$

No entanto, como a maior parte do O_x (cerca de 99%) está sob a forma de ozono, o mecanismo de Chapman prevê que a concentração local deste seja proporcional à raiz quadrada da velocidade de fotólise do oxigénio molecular (O_2).

Mas analisando as figuras seguintes (Fig. 21 e Fig. 22) facilmente constatamos que as regiões de maior concentração de ozono não coincidem sempre com os locais de maior velocidade de formação deste.

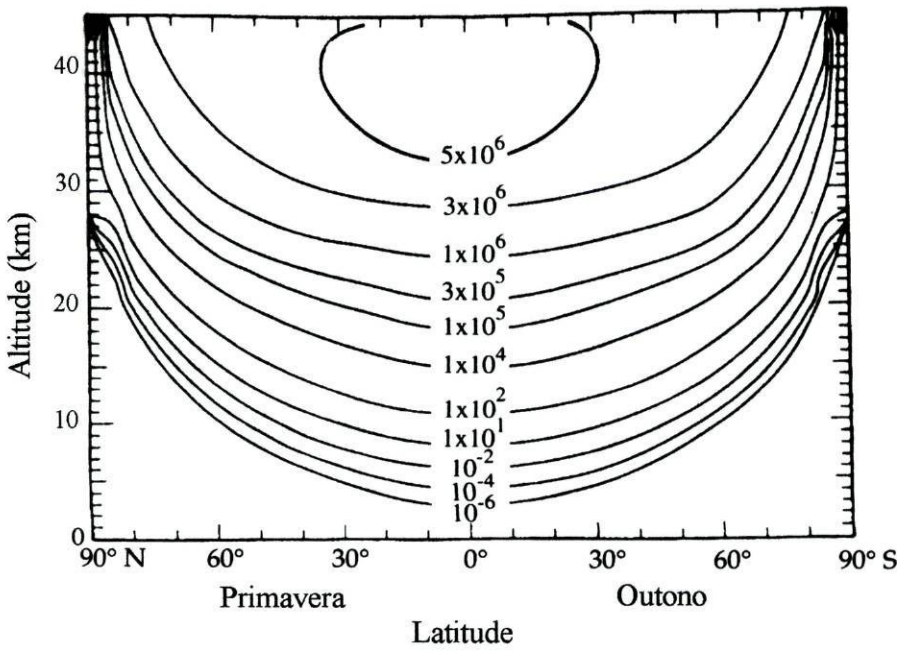


Fig. 21- Formação de ozono (moléculas cm^{-1}) a partir da fotólise de O_2 em função da latitude e da altitude (VANLOON e DUFFY, 2000)

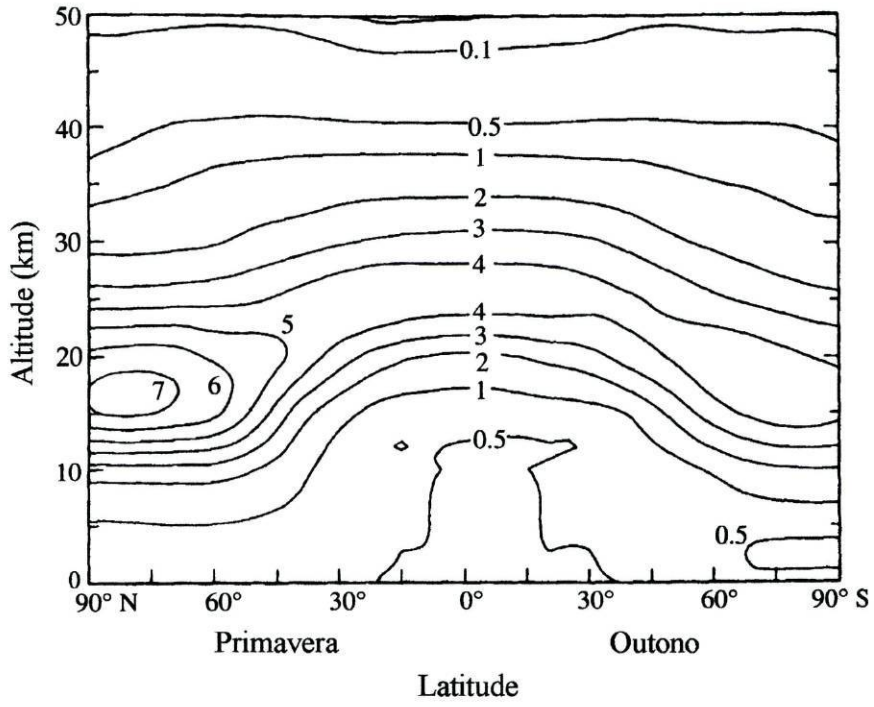


Fig. 22- Concentração de ozono (em unidades 10^{12} moléculas cm^{-3}) em função da altitude (VANLOON e DUFFY, 2000)

Pois, enquanto que a velocidade de produção do ozono é maior no equador e a cerca de 40 km de altitude, a concentração máxima surge para latitudes norte. Mesmo no equador, onde a máxima concentração ocorre aos 25 km, a zona onde se observa a produção máxima é aos 40 km. Nos pólos, onde as máximas produções ocorrem para maiores altitudes do que no equador, a concentração atinge valores máximos para altitudes ainda mais baixas de que no equador. Havendo ainda uma assimetria norte-sul na concentração do ozono, enquanto que as produções são semelhantes.

Assim sendo, a concentração de ozono e a sua produção não atingem conjuntamente valores máximos, apesar do modelo do estado estacionário para o O_x prever que a concentração do ozono seja proporcional à raiz quadrada da velocidade da fotólise do oxigénio molecular (O_2). A explicação para esta falta de alinhamento deve-se ao efeito da redistribuição horizontal e vertical das massas de ar estratosférico.

Até cerca de 1964, considerava-se o mecanismo de Chapman suficiente para justificar a formação e destruição da camada de ozono na estratosfera. Porém, medições da velocidade da reacção 7 faziam prever maiores abundâncias de ozono do que as calculadas. Além disso, outras medições mais recentes mostraram ainda que o valor real era cerca de duas vezes menor do que aquele previsto pelo mecanismo. Assim, concluiu-se que deviam existir muitos outros mecanismos de destruição do ozono para além dos previstos.

Já em 1950, Bates e Nicolet, chegaram a introduzir a ideia de processo catalítico de perda envolvendo o radical de hidrogénio, para justificar esta diferença. Porém a descoberta fundamental para a química da estratosfera só ocorreu em 1970, quando Crutzen e Johnston mostraram o papel dos óxidos de azoto na química da estratosfera. Mais tarde, Stolarski, Cicerone, Molina e Rowland estabeleceram ainda o efeito dos compostos contendo cloro (Cl).

Com o desenvolvimento do conhecimento, novos processos de destruição de ozono foram adicionados ao mecanismo de Chapman sob a forma de um ciclo catalítico, traduzido pelas seguintes equações:

$$X + O_3 \longrightarrow XO + O_2 \qquad \text{eq. 17}$$

$$XO + O \longrightarrow X + O_2 \qquad \text{eq. 18}$$

Global: $O_3 + O \longrightarrow O_2 + O_2$

Em que X é um radical livre catalisador, pois não é consumido ao longo de todo o processo. A importância relativa de cada ciclo relativamente a uma espécie X, depende da sua concentração e das velocidades específicas das reacções elementares.

O resultado global deste processo é a conversão de duas espécies impares, O_3 e O, em duas espécies pares, O_2.

Ciclos catalíticos

Ciclos de HOx

O primeiro ciclo a ser identificado, denomina-se de HO_x e envolve radicais que contêm hidrogénio.

Os ciclos catalíticos correspondem a X = H e X = OH nas equações químicas (17) e (18) e são:

Ciclo 1:

$$H + O_3 \longrightarrow OH + O_2 \qquad \text{eq. 19}$$

$$OH + O \longrightarrow H + O_2 \qquad \text{eq. 20}$$

Global: $O_3 + O \longrightarrow O_2 + O_2$

Ciclo 2:

$OH + O_3 \longrightarrow HO_2 + O_2$ eq. 21

$HO_2 + O \longrightarrow OH + O_2$ eq. 22

Global: $O_3 + O \longrightarrow O_2 + O_2$

No entanto, há que notar que os ciclos catalíticos que convertem os oxigénios impares em pares não têm a necessidade absoluta de se ajustarem a este formato. Tal assim é uma vez que dentro da família HO_x o ciclo seguinte que converte dois oxigénios impares em um oxigénio par também é possível:

Ciclo 3:

$OH + O \longrightarrow H + O_2$ eq. 23

$H + O_2 + M \longrightarrow HO_2 + M$ eq. 24

$HO_2 + O \longrightarrow OH + O_2$ eq. 25

Global: $O + O + M \longrightarrow O_2 + M$

Também é possível um outro ciclo que envolve apenas ozono:

Ciclo 4:

$OH + O_3 \longrightarrow HO_2 + O_2$ eq. 26

$HO_2 + O_3 \longrightarrow OH + O_2 + O_2$ eq. 27

Global: $O_3 + O_3 \longrightarrow O_2 + O_2 + O_2$

Dependendo da altitude na estratosfera cada um destes ciclos adquire uma importância diferente, isto porque com a variação desta existem diferentes concentrações relativas do oxigénio atómico (O), do radical hidroxilo (OH) e do radical hidroperoxílo (HO_2), como se constata em relação aos dois últimos na Tabela 6.

Tabela 6- Razões de mistura dos radicais hidroxílo e hidroperoxílo determinadas *in situ*

Altitude/km	Radical hidroxílo (OH)	Radical hidroperoxílo (HO_2)
16	1 ppt	---
25	3 ppt	100 ppt
45	400 ppt	200 ppt

Na realidade com o aumento da altitude a concentração oxigénio atómico (O), do radical hidroxílo (OH) e do radical hidroperoxílo (HO_2) aumentam, mas a concentração de ozono (O_3) diminui.

Assim sendo, enquanto que o ciclo 1 é importante para cima dos 40 km, porque envolve hidrogénio atómico (H), o ciclo 2, como resultado do balanço das várias reacções envolvidas (reacção entre o radical hidroxílo (OH) e o ozono (O_3) e a reacção entre o oxigénio atómico (O) e o radical hidroperoxílo (HO_2)), é importante apenas abaixo desta altitude.

Em consequência da reacção global das reacções 26 e 27, o ciclo 3 só adquire importância na estratosfera superior. Por sua vez, a relevância do ciclo 4 só é notória para baixo dos 30 km, pois requer grande quantidade de ozono para ocorrer.

Na atmosfera a fonte principal do radical hidroxilo (OH) é o vapor de água (H_2O), sendo a produção desta iniciada pela fotólise do ozono com a produção da espécie electronicamente excitada mais importante da atmosfera, o átomo de oxigénio no seu estado excitado singleto O (^1D). Esta espécie excitada além de ser produzida pela fotólise do ozono a comprimentos de onda inferiores a 320 nm, também é produzida pela fotólise do oxigénio molecular (O_2) com radiação de comprimento de onda muito curto.

$$O_3 + h\nu\ (\lambda < 1180\ nm) \longrightarrow O_2 + O \qquad \text{eq. 28}$$

$$O_3 + h\nu\ (\lambda < 320\ nm) \longrightarrow O_2 + O\ (^1D) \qquad \text{eq. 29}$$

$$O_2 + h\nu\ (\lambda < 180\ nm) \longrightarrow O + O\ (^1D) \qquad \text{eq. 30}$$

Grande parte desta espécie extremamente reactiva volta ao estado fundamental de oxigénio atómico (O) por colisão com o azoto (N_2) ou com o oxigénio molecular (O_2). Porém uma pequena fracção reage quimicamente com outras espécies, nomeadamente vapor de água (H_2O) e o metano (CH_4), dando origem ao radical hidroxílo (OH):

$$O\,(^1D) + H_2O \longrightarrow 2\,OH \qquad \text{eq. 31}$$

$$O\,(^1D) + CH_4 \longrightarrow OH + CH_3 \qquad \text{eq. 32}$$

Ciclos de NOx

A principal fonte natural de NO_x na estratosfera, podendo este ser monóxido de azoto (NO) ou dióxido de azoto (NO_2) é o óxido nitroso (N_2O).

Aproximadamente 90% deste é destruído por fotólise,

$$N_2O + h\nu \longrightarrow N_2 + O\,(^1D) \qquad \text{eq. 33}$$

Porém o restante reage com o átomo de oxigénio no seu estado excitado singleto $O\,(^1D)$:

$$O\,(^1D) + N_2O \longrightarrow 2\,NO \qquad \text{eq. 34}$$

$$O\,(^1D) + N_2O \longrightarrow N_2 + O_2 \qquad \text{eq. 35}$$

O óxido nitroso (N_2O) entra na estratosfera pelas correntes de ar ascendente dos trópicos. Após cruzar a tropopausa, sobe lentamente sendo destruído essencialmente pelas reacções (33) e (34), durante esta subida. Quanto mais sobe, mais efectivas se tornam estas reacções, pois a fotólise do óxido nitroso (N_2O) e do ozono (O_3) aumentam com a altitude.

O seguinte ciclo de NOx converte o oxigénio impar em oxigénio par:

Ciclo 1:

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2 \qquad \text{eq. 36}$$

$$NO_2 + O \longrightarrow NO + O_2 \qquad \text{eq. 37}$$

Global: $O_3 + O \longrightarrow O_2 + O_2$

A velocidade global deste ciclo é dominada pela reacção (37).

Na baixa estratosfera, onde a concentração de ozono é maior, existe ainda um outro ciclo,

Ciclo 2:

$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$ eq. 38

$NO_2 + O_3 \longrightarrow NO_3 + O_2$ eq. 39

$NO_3 + h\nu \longrightarrow NO + O_2$ eq. 40

Global: $2\ O_3 + h\nu \longrightarrow 3\ O_2$

No entanto, há que notar que, o radical nitrato (NO_3), formado na reacção (39) é, durante o dia, rapidamente fotolisado, havendo duas vias possíveis para essa fotólise:

$NO_3 + h\nu \longrightarrow NO_2 + O$ eq. 41

$NO_3 + h\nu \longrightarrow NO + O_2$ eq. 42

O radical nitrato (NO_3) pode também reagir com o dióxido de azoto (NO_2) para produzir pentóxido de diazoto (N_2O_5).

$NO_3 + NO_2 + M \longrightarrow N_2O_5 + M$ eq. 43

Contudo, o pentóxido de diazoto pode converter-se nos reagentes desta reacção por fotólise ou termicamente. Porém, a sua formação não representa uma perda permanente de NO_x, pois o pentóxido de diazoto (N_2O_5) é uma espécie reservatório para NO_x.

A reacção heterogénea:

$N_2O_5 + H_2O\ (s) \longrightarrow 2\ HNO_3\ (s)$ eq. 44

onde H_2O (s) representa uma molécula de água absorvida numa partícula sólida, é importante tanto na estratosfera como na troposfera. Embora esta reacção em fase gasosa seja muito lenta, ocorre de forma muito eficiente nas partículas dos aerossóis (suspensão de um sólido fino ou partículas líquidas num gás), como veremos no cap. 3.3.5.

Ciclos de ClOx

A uma altitude de 30 km a contribuição dos átomos de cloro para a destruição do ozono ronda os 10% do total.

O único percursor natural de átomos de cloro significativo é o cloreto de metilo (CH_3Cl), o qual é produzido a partir dos oceanos, da queima da vegetação e das emissões vulcânicas.

Uma vez na atmosfera, este componente sofre fotólise para libertar cloro reactivo:

$$CH_3Cl + h\nu \longrightarrow CH_3 + Cl \qquad \text{eq. 45}$$

O cloreto de metilo (CH_3Cl) é parcialmente removido pela reacção com hidróxido (OH):

$$CH_3Cl + OH \longrightarrow CH_2Cl + H_2O \qquad \text{eq. 46}$$

De forma semelhante aos casos anteriores, o mecanismo de destruição do ozono envolvendo o cloro pode ser descrito como se segue:

$$Cl + O_3 \longrightarrow ClO + O_2 \qquad \text{eq. 47}$$

$$ClO + O \longrightarrow Cl + O_2 \qquad \text{eq. 48}$$

Global: $O_3 + O \longrightarrow O_2 + O_2$

Embora as fontes naturais produzam pequenas quantidades de cloro atómico na estratosfera, o grande contributo para a destruição do ozono é o cloro proveniente de fontes antropogénicas.

O reservatório de espécies e acoplamento dos ciclos

Ao analisarmos apenas os ciclos anteriores (HO_x, NO_x e ClO_x) poderíamos ser levados a pensar que estes conduziriam a perdas continuadas e permanentes do ozono. Porém, qualquer um desses ciclos pode ser interrompido quando a espécie catalítica envolvida participa noutras reacções deixando de estar acessível a participar nos ciclos.

As reacções seguintes são exemplos de reacções interruptoras dos ciclos anteriores:

$$OH + NO_2 + M \longrightarrow HNO_3 + M \qquad \text{eq. 49}$$

$$Cl + CH_4 \longrightarrow HCl + CH_3 \qquad \text{eq. 50}$$

Qualquer dos ácidos obtidos nestas reacções (ácido nítrico (HNO_3) e ácido clorídrico (HCl)) são espécies relativamente estáveis na estratosfera.

Uma espécie reactiva pode também ser temporariamente removida de um ciclo catalítico e armazenada em reservatório de espécies, o que significa que é colocada numa forma relativamente não reactiva, sendo efectivamente retirada da atmosfera. Uma importante espécie reservatório, porque armazena dois agentes catalíticos, o NO_2 e o ClO, é o nitrato de cloro ($ClONO_2$), formado na seguinte reacção:

$$ClO + NO_2 + M \longrightarrow ClONO_2 + M \qquad \text{eq. 51}$$

Esta espécie pode sofrer fotólise, libertando novamente Cl e ClO para as espécies activas do ciclo ClO_x.

$$ClONO_2 + h\nu \longrightarrow ClO + NO_2 \qquad \text{eq. 52}$$

$$ClONO_2 + h\nu \longrightarrow Cl + NO_3 \qquad \text{eq. 53}$$

A partição das espécies de cloro entre reservatórios reactivos e não reactivos depende de vários factores, nomeadamente: temperatura, altitude e latitude. A Fig. 23 representa as reacções que envolvem as diversas espécies de cloro:

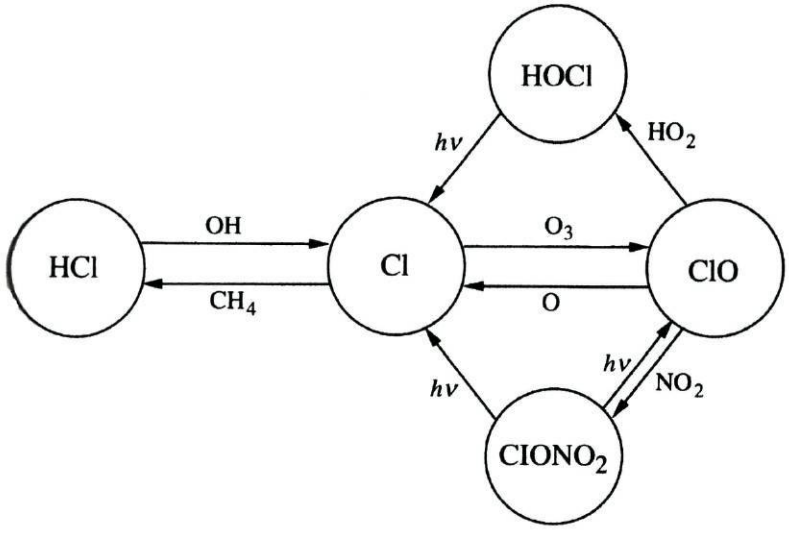


Fig. 23- Esquema simplificado dos ciclos de destruição de ozono pelos ClO_x (VANLOON e DUFFY, 2000)

A importância do nitrato de cloro ($ClONO_2$) e ácido hipocloroso (HOCl) como espécies de reservatório depende das abundâncias de NO_2 e HO_2.

Verifica-se então que os ciclos HO_x, NO_x e ClO_x estão todos acoplados e a sua inter-relação condiciona a química da estratosfera. Os ciclos NO_x e ClO_x estão acoplados pelas reacções (51) a (53). Enquanto que o acoplamento dos ciclos HO_x e NO_x ocorre como:

$$HO_2 + NO \longrightarrow NO_2 + OH \qquad \text{eq. 54}$$

$$OH + NO_2 + M \longrightarrow HNO_3 + M \qquad \text{eq. 55}$$

$$HNO_3 + h\nu \longrightarrow HO + NO_2 \qquad \text{eq. 56}$$

$$HNO_3 + OH \longrightarrow H_2O + NO_3 \qquad \text{eq. 57}$$

e o acoplamento dos ciclos HO_x e ClO_x ocorre por:

$$OH + HCl \longrightarrow H_2O + Cl \qquad \text{eq. 58}$$

$$HO_2 + ClO \longrightarrow HOCl + O_2 \qquad \text{eq. 59}$$

3.3.3. A primeira abordagem do problema: "Destruição da Camada de Ozono"

O primeiro grande alerta da destruição da camada de ozono começou a ser levantado nos finais dos anos 60, com a perspectiva de um aumento significativo dos voos comerciais na estratosfera (KANDEL, 1990).

No entanto, em 1971, ao abrigo de um programa de avaliação do impacto climático, o governo dos Estados Unidos deu início pela mão de cientistas ligados a este programa a uma investigação, com o objectivo de se discutir se se devia ou não avançar com a construção de uma frota de transportes supersónicos (SST). A questão neste caso, não era a velocidade deste meio de transporte, mas a respectiva altitude. Previa-se que voassem a uma altitude à qual o azoto queimado e expelido pelos motores dos jactos (sob a forma de óxidos de azoto), permanecia na estratosfera, durante muito tempo, por esta ser muito seca e não conseguir eliminar com facilidade os poluentes.

Os cientistas ligados a este programa calculavam mesmo que 500 voos diários através da estratosfera injectariam óxidos de azoto em quantidade suficiente para provocar uma redução de 10% a 20% do ozono.

Porém, é durante este debate que Sherewood Rowland e Mário Molina (Fig. 24), que trabalhavam na Universidade da Califórnia, em Irvime, alertaram que não era necessária uma frota destes aviões para prejudicar a camada de ozono, pois estaríamos a fazer precisamente o mesmo cá em baixo utilizando os aerossóis, juntamente com outros produtos à base de clorofluorcarbonetos. O trabalho destes, foi de tal forma pioneiro na química atmosférica do ozono que, em 1995, foram laureados com o prémio Nobel da Química.



(a) **(b)**

Fig. 24 - Mário Molina (a) e Sherwood Rowland (b) (Laureados prémio Nobel da Química em 1995) (NOBEL e-MUSEUM, 2003)

Mas, a evidência definitiva da diminuição da espessura da camada de ozono, só surgiu em 1981, com o trabalho de uma equipa de cientistas da British Antarctic Survey liderada por Joseph Farman. Esta equipa, ao observar o céu de um posto em Halley Bay, na costa da Antárctica surpreendeu a comunidade científica ao notar uma diminuição da espessura da camada de ozono na estratosfera, por cima de Halley Bay (Fig. 25). Ao rever os registos, Farman apercebeu-se mesmo de que o ozono estava a diminuir há vários anos, sempre nos meses de Primavera do pólo sul (WEINER, 1991).

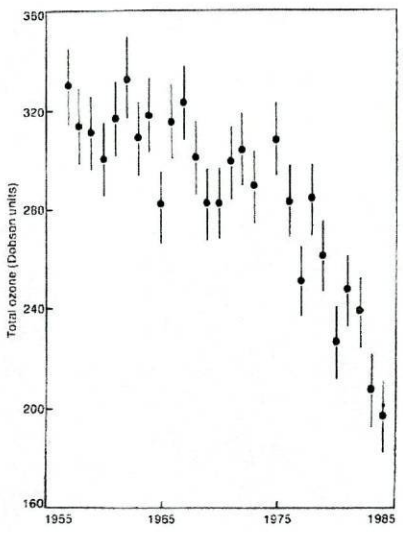


Fig. 25- Primeira publicação da evidência da diminuição da espessura da camada de ozono, ao longo de um período de 30 anos. Estas medições foram feitas em Halley Bay, na costa da Antárctica (GLOBAL, 2003)

Essa descida era irregular, com algumas recuperações mas, de um modo geral, em todas as primaveras austrais havia menos ozono do que na anterior. A camada de ozono era tão fina por cima de Halley Bay, relativamente ao resto da estratosfera, que parecia que um buraco tinha sido aberto no céu, daí a designação "Buraco na Camada de Ozono".

Quando Farman fez esta descoberta havia de novo menos ozono e no ano a seguir ainda menos. Todos os anos, tal como acontece ainda hoje, o ozono refazia o seu nível normal, mas a diminuição era cada vez maior. Farman questionava-se então sobre este aumento e diminuição cíclicos e porque é que mais ninguém via o mesmo que ele, surgindo mesmo a dúvida se a camada de ozono estaria apenas a diminuir de espessura por cima da sua estação de observação. Mesmo assim, outros "olhos" deveriam detectar o mesmo que ele.

Um desses "observadores" era o espectrómetro de detecção do ozono total a bordo da satélite meteorológico da NASA, o *Nimbus*-7, que observava a estratosfera do espaço exterior. Este instrumento, que podia detectar diariamente em todo o planeta a quantidade de

ozono, tinha uma visão melhor do que qualquer observador humano na superfície do planeta. No entanto, os cientistas da NASA que operavam o *Nimbus*-7, não relatavam nada de anormal na camada de ozono por cima de Halley Bay nem em qualquer outro lado.

Após a descoberta em Halley Bay, e duvidando da sua própria constatação Farman pesquisou periódicos e relatórios da investigação técnica, procurando uma confirmação independente da diminuição da espessura da camada de ozono. Contudo mais ninguém parecia ver o mesmo que ele, nem mesmo os satélites. A equipa da Antárctica vivia com a enorme solidão da descoberta que era apenas comparável à solidão do local (WEINER, 1991). Só em 1984, quando a diminuição da espessura da camada de ozono se tinha tornado tão extensa que atingia praticamente uma ponta da Argentina, foi detectada por uma segunda estação britânica de medição.

Nesse mesmo ano, a Academia Nacional das Ciências publicou um dos mais completos relatórios sobre o ozono. Por estranho que possa parecer os peritos que o elaboraram mostraram-se optimistas sobre o futuro. Haviam sido efectuados alguns novos cálculos e admitia-se como provável que a camada de ozono diminuísse, mas apenas ligeiramente talvez 2% a 4% num período de 100 anos. Havia ainda quem considerasse que o nível total de ozono pudesse até subir.

Por esta altura, os cientistas da NASA reavaliaram os dados enviados pelo Nimbus-7 e aperceberam-se do que acontecera. Haviam sido vítimas da própria automatização. O Nimbus-7, lançado em 1978, captava os dados por satélite e automaticamente enviava-os para a Terra via rádio, onde esses valores eram analisados automaticamente por um computador. Este fora programado para fazer uma triagem estatística da quantidade de ozono e eliminar quaisquer dados inconsequentes que surgissem, pois partia-se do princípio que os níveis de ozono na estratosfera eram mais ou menos uniformes. Assim da forma como o computador estava programado se os números transmitidos pelo satélite fossem excessivamente baixos ao passar pela Antárctica, ou por qualquer outro ponto do planeta, o computador ignorá-los-ia.

Assim, enquanto que na Antárctica crescia a angústia entre a equipa de Farman e no espaço os olhos-robôs registavam o crescimento do "Buraco de Ozono" por cima do Pólo Sul, em Terra um computador calmamente desprezava esses números (WEINER, 1991).

Esta constatação suscitou desde logo um grande interesse na comunidade científica internacional especializada, já fortemente mobilizada para a questão do ozono. Logo em 1986, organizaram-se expedições que procederam a medições completas *in situ*, nas regiões polares (KANDEL, 1990).

É de notar que quando "buraco" foi detectado pela primeira vez, muitos cientistas pensaram que este seria um fenómeno natural. Embora a tese escolhida para a sua explicação dependesse de quem o estudava. Alguns vulcanólogos, pensavam que tinha sido um vulcão o responsável pela diminuição da espessura da camada de ozono, apontando mesmo o vulcão mexicano El Chichón, como o grande responsável. A sua erupção em 1982, envolveu todo o planeta numa larga faixa de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido clorídrico (HCl), de tal modo que em determinada altura, à latitude do El Chichón, a atmosfera continha quase 50% mais ácido clorídrico (HCl) do que o normal. No entanto, também se reconhecia que se o El Chichón tivesse sido o causador do "buraco de ozono", este fechar-se-ia dentro de alguns anos à medida que chovessem gotículas de ácido da estratosfera.

Alguns dos peritos em ventos consideravam que a diminuição da espessura da camada de ozono surgia devido à alteração nos padrões do vento. Este poderia ter transportado ar pobre em ozono da parte de baixo da atmosfera para a estratosfera, diminuindo assim a concentração do ozono nessa região. De acordo com esta teoria, o "buraco do ozono" corresponderia assim mais uma vez a uma oscilação natural que a seu tempo se recomporia.

Por seu lado, os cientistas solares atribuíam a responsabilidade ao sol. Estes reconheciam que o sol estivera hiperactivo em 1980 e teorizavam que o seu intenso brilho havia alterado a química da atmosfera superior ao criar um excesso de óxidos de azoto – à semelhança do que a hipotética frota de transportes supersónicos teria feito. Estes compostos, segundo os cientistas solares estariam ainda à deriva na estratosfera, podendo demorar alguns anos a dissipar-se (WEINER, 1991).

Então, se a responsabilidade fosse de qualquer um destes elementos: dos vulcões, dos ventos ou da intensidade solar não seria preocupante, pois como vimos a seu tempo a camada de ozono recompor-se-ia. Todavia, se a culpa fosse do cloro proveniente dos clorofluorcarbonetos como Rowland, Molina, Solomon e outros suspeitavam, o problema era bastante diferente. A baixa atmosfera encontrava-se carregada de clorofluorcarbonetos, que subiam lentamente para a estratosfera. De facto, a maior parte dos clorofluorcarbonetos até então fabricados continuavam ainda a sua marcha para a estratosfera, o que fazia com o "buraco" pudesse continuar a crescer.

Com a expedição de 1986 registou-se cerca de sessenta vezes mais cloro do que o normal na estratosfera por cima da base. Este facto contrariava a tese dos vulcões, do vento e do sol. A primeira era refutada porque as medições efectuadas das partículas vulcânicas revelaram poucos indícios da grande erupção do El Chichón. A tese dos ventos também era contrariada. Se estes tivessem trazido ar pobre em ozono de outros locais, não poderiam ter

trazido tão elevada concentração de cloro. Os cientistas solares também viram a sua teoria posta de parte, pois também se constataram níveis baixos de óxidos de azoto durante a expedição.

De facto, com as sucessivas medições confirmou-se, em grande parte, o que Rowland e outros suspeitavam relativamente ao grande responsável pela destruição da camada de ozono, confirmou-se a presença significativa de óxidos de cloro decorrentes dos clorofluorcarbonetos.

3.3.4. Os Clorofluorcarbonetos (CFCs)

Este tipo de hidrocarbonetos com halogéneos, os Clorofluorcarbonetos (CFCs) são moléculas orgânicas nas quais átomos de cloro (Cl) e de flúor (F) substituem alguns dos átomos de hidrogénio (H), como se representa na Fig. 26.

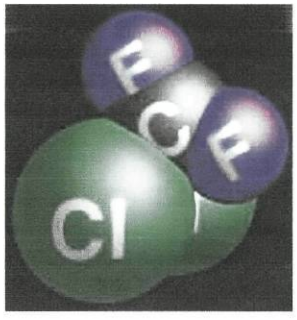


Fig. 26- Composição dos CFCs (NATURALEZA, 2003)

Estes são produzidos artificialmente desde 1930 e são considerados muito estáveis, na medida em que: não são inflamáveis, não reagem quimicamente com as substâncias mais comuns e não se transformam nem se destroem com facilidade, apresentando mesmo inércia química e biológica (YEARLEY, 1992).

Apresentam como características valores baixos de viscosidade, tensão superficial e ponto de ebulição. Além disso, são gases à pressão normal (atmosférica), podem liquefazer-se facilmente mesmo à temperatura ambiente e possuem a capacidade de evaporar rapidamente, quando a pressão diminui.

O fluxo de vaporização deste gás pode ser usado para transportar, misturado consigo, produtos químicos como por exemplo: perfumes, tintas ou desodorizantes. As mesmas propriedades que os tornam apropriados para o uso em aerossóis, dão-lhe também a capacidade para operarem como agente de arrefecimento em frigoríficos e congeladores.

A sua baixa reactividade torna-os ainda apropriados para muitos outros fins: usam-se nos extintores de incêndios, como um meio sufocante das chamas, na limpeza de equipamento electrónico muito sensível, com a confiança de que não reagem quimicamente com os respectivos componentes. São ainda utilizados no fabrico de espumas de plástico – para materiais isolantes ou embalagens - visto que podem sem perigo ser insuflados em plásticos fundidos, sem com isso constituir qualquer risco para os utilizadores do material. A sua vulgarização deve-se ainda ao facto de serem bons isoladores.

Os CFCs fazem tudo isto de forma muito eficiente, mas é precisamente a sua não reactividade química e consequentemente, a sua vida muito longa que constitui um problema. Estes químicos, na realidade são considerados os plásticos da atmosfera, pois quando libertados na atmosfera persistem (YEARLEY, 1992).

Na Tabela 7 listam-se algumas características ambientais de CFCs comuns:

Tabela 7- Características dos CFCs comuns (VANLOON e DUFFY, 2000)

* ODP- Potencial de destruição do ozono

Designação vulgar	Fórmula	Tempo de vida troposférico / y	ODP*	Velocidade de desaparecimento / 10^6kgy-1	Concentração / pptv		Contribuição para a destruição do ozono / %
					1977	1993	
CFC-11	$CFCl_3$	60	1,0	281	140	272	31
CFC-12	CF_2Cl_2	195	1,0	370	255	519	36
CFC-113	$CF_2ClCFCl_2$	101	0,8	138	-	-	14
CFC-114	CF_2ClCF_2Cl	236	1,0	-	-	-	-
CFC-115	CF_2ClCF_3	522	0,6	-	-	-	-

Uma das características importantes dos CFCs é o potencial de destruição do ozono (ODP), o qual é definido pela razão entre o impacto no ozono (O_3) de um químico específico com o de uma massa equivalente de CFC-11 (VANLOON e DUFFY, 2000).

Os valores de ODP são usados como guias para prever o impacto global na camada de ozono das espécies químicas. Isto porque esta grandeza atende a vários factores, como sejam: a reactividade das espécies, o tempo de vida na atmosfera, a massa molar e a quantidade de cloro que possuem (VANLOON e DUFFY, 2000).

Nomenclatura e características dos CFCs

A designação vulgar dos clorofluorcarbonetos, CFC-*xyz*, dá-nos a conhecer o número de átomos dos elementos carbono, hidrogénio e flúor que o constituem. Pois na representação (VANLOON e DUFFY, 2000):

CFC-*xyz*

x- representa o número de átomos de C-1 (normalmente omitidos de x=0)

y- representa o número de átomos de H + 1

z- representa o número de átomos de F

No entanto, se repararmos o número de átomos do elemento cloro, não está explícito nesta representação. Uma maneira simples para determinar a fórmula química a partir desta representação é adicionar 90 ao número *xyz*. Os três algarismos do dígito modificado dão-nos o número de átomos de carbono, hidrogénio e flúor da sequência.

A título de exemplo, a fórmula química do CFC-115 pode então ser determinada da seguinte forma:

115+90 = 205

Directamente sabemos que o CFC-115 possui 2 átomos de carbono, 0 átomos de hidrogénio e 5 átomos de flúor. Indirectamente também conseguimos saber que possui além destes átomos, um átomo do elemento químico cloro. Assim sendo a fórmula química para CFC-115 é CF_3CF_2Cl.

3.3.5. O Buraco do Ozono – Porque a grande dimensão sobre a Antárctica?

Quando o cientista britânico Joseph Farman surpreendeu a comunidade científica com a notícia da diminuição maciça da espessura da camada de ozono sobre a Antárctica, não foi possível explicar totalmente a particularidade de tal fenómeno com os conhecimentos da química da estratosfera da altura.

Apesar de terem sido propostas várias teorias para a responsabilidade deste acontecimento, nenhuma chegava a ser totalmente consistente com os valores registados. As causas naturais eram refutadas, as explicações químicas que atendiam aos ciclos catalíticos mostravam-se insuficientes e mesmo os CFCs e os halogéneos que eram apontados como os grandes responsáveis não se mostravam suficientes. Estes seriam muito mais eficientes na destruição do ozono a altitudes de 40 km e não entre os 12 e os 24 km à qual surgia o "Buraco do Ozono".

Sabe-se actualmente que a maior parte do ozono é sintetizado nos trópicos e que por movimentação em grande escala atinge a Antárctica, juntamente com os reservatórios de cloro molecular. Porém este é retido nesta região da Terra, que acaba por conter a maior concentração de ozono, durante a maior parte do ano, porque esta possui condições muito particulares.

Durante o Inverno austral à medida que o ar arrefece, desce e provoca uma circulação de ar para oeste, criando-se assim o designado ciclone polar.

Este ciclone por ser muito estável durante o Inverno e início de Primavera do pólo sul (Setembro), sela de forma eficiente o ar do seu núcleo muito frio do existente fora, retendo assim o ozono importado de outras regiões sobre a Antárctica durante estes meses. Uma das razões para esta estabilidade é a distribuição simétrica de oceano à volta desta região da Terra. Porém, quando o Sol surge na Primavera austral, a temperatura aumenta e provoca um enfraquecimento do ciclone polar, que praticamente desaparece em Novembro (final da Primavera).

Ou seja, com o início da Primavera a quantidade de ozono sobre a Antárctica diminui, mas, com o final desta, em Novembro, essa diminuição abranda. Assim sendo, este aumento e diminuição cíclicos, que ocorrem sempre no pólo sul é um fenómeno natural. No entanto, a quando da descoberta do "Buraco do Ozono" constatou-se que os níveis de ozono na primavera austral estavam a diminuir para valores sequencialmente mais baixos (Fig. 27).

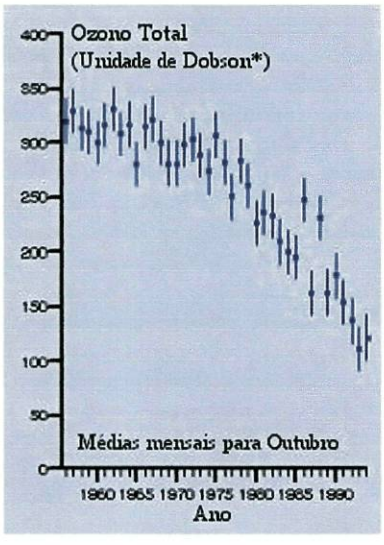


Fig. 27- Representação gráfica da variação total de ozono[1]

[1] *Dobson* é a unidade que mede a concentração de ozono. É uma medida de comprimento e indica a altura que teria a camada de ozono se toda ela fosse trazida para baixo, à pressão do nível do mar e à temperatura de 0°C. Um dobson equivale a um milionésimo de centímetro; 500 dobsons correspondem a uma espessura de ozono de 5 milímetros, nas condições descritas de temperatura e pressão padronizadas

Foi então necessário procurar novos factores que justificassem os valores encontrados. A estratosfera é muito seca e geralmente sem nuvens. Contudo, durante o Inverno polar é possível surgirem nuvens estratosféricas polares (PSC), devido às baixas temperaturas que aí se registam por exemplo 183K (-90 ºC), a altitudes de 15 a 20 km. Estas nuvens não são mais do que o resultado da condensação do pouco vapor de água que existe nesta região da atmosfera.

Para altitudes de 12 a 30 km a estratosfera contém também uma camada de aerossóis (suspensão de um sólido fino ou partículas líquidas num gás), sendo este constituído essencialmente por pequenas gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) com tamanhos da ordem dos 0,2 μm de diâmetro e uma concentração de 1 a 10^{-3} cm^{-3}.

Estas nuvens que se localizam entre os 10 e os 25 km de altitude, na realidade são o elemento fundamental para justificar o "buraco" na camada de ozono, graças a um conjunto de reacções heterogéneas que nelas ocorrem. Normalmente a libertação do cloro activo do ácido clorídrico (HCl) e do nitrato de cloro ($ClONO_2$) é um processo muito lento, mas as PSC promovem a sua conversão em cloro fotoquimicamente activo.

O primeiro passo deste processo, ocorre de forma muito eficiente e consiste na absorção dos gases nas PSC. A este passo segue-se a reacção heterogénea do gás nitrato de cloro ($ClONO_2$):

$$HCl\ (s) + ClONO_2 \longrightarrow Cl_2 + HNO_3\ (s) \qquad \text{eq. 60}$$

em que (s) denomina a espécie da superfície do gelo.

Enquanto que o cloro (Cl_2) formado nesta reacção sofre rapidamente fotólise, produzindo átomos de cloro (Cl), o ácido nítrico (HNO_3) permanece no gelo, levando a uma remoção dos óxidos de azoto da fase gasosa. Esta retenção do ácido nítrico (HNO_3) facilita a continuação da destruição catalítica do ozono por remoção de NO_x do sistema que poderia entretanto reagir com ClO para formar $ClONO_2$.

A reacção global é:

$$HCl\ (s) + ClONO_2 \longrightarrow Cl_2 + HNO_3\ (s) \qquad \text{eq. 61}$$

$$Cl_2 + h\nu \longrightarrow 2\ Cl \qquad \text{eq. 62}$$

$$2\ [Cl + O_3 \longrightarrow ClO + O_2] \qquad \text{eq. 63}$$

$$ClO + NO_2 + M \longrightarrow ClONO_2 + M \qquad \text{eq. 64}$$

$$\text{Global}: HCl\ (s) + NO_2 + 2\ O_3 \longrightarrow HNO_3\ (s) + O_2 \qquad \text{eq. 65}$$

Também pode ocorrer a reacção entre o nitrato de cloro ($ClONO_2$) e a H_2O (s), que em fase gasosa é muito lenta:

$$ClONO_2 + H_2O\ (s) \longrightarrow HOCl + HNO_3\ (s) \qquad \text{eq. 66}$$

O produto desta reacção, o ácido hipocloroso (HOCl) gasoso, rapidamente sofre fotólise para dar origem a cloro livre. Porém pode também reagir com o HCl (s).

$$HOCl + HCl\ (s) \longrightarrow Cl_2 + H_2O \qquad \text{eq. 67}$$

Se existir pentóxido de diazoto (N_2O_5), pode ocorrer uma outra reacção heterogénea que converte HCl em cloro activo:

$$N_2O_5 + HCl\ (s) \longrightarrow ClNO_2 + HNO_3\ (s) \qquad \text{eq. 68}$$

Neste caso, o produto em fase gasosa, o $ClNO_2$, sofre uma rápida fotólise para dar origem a mais cloro activo.

Resumindo, podemos então dizer que o mecanismo de destruição do ozono na estratosfera polar requer duas condições:

- Temperaturas muito baixas
- Luz solar

A ausência de qualquer uma destas condições não permite o estabelecimento do mecanismo de destruição. A primeira condição é essencial para que se formem as nuvens estratosféricas polares, que fornecem a superfície na qual as reacções heterogéneas ocorrem. As espécies nitrato de cloro ($ClONO_2$) e pentóxido de diazoto (N_2O_5) reagem heterogeneamente com as nuvens estratosféricas polares nas quais existe HCl absorvido para produzir Cl_2, HOCl e $ClNO_2$.

A segunda condição é necessária para provocar a fotólise das espécies gasosas de cloro produzidas a partir das reacções heterogéneas, cujos produtos reagem com o ozono. A Fig. 28 representa o conjunto completo de ciclos catalíticos e o papel das PSC:

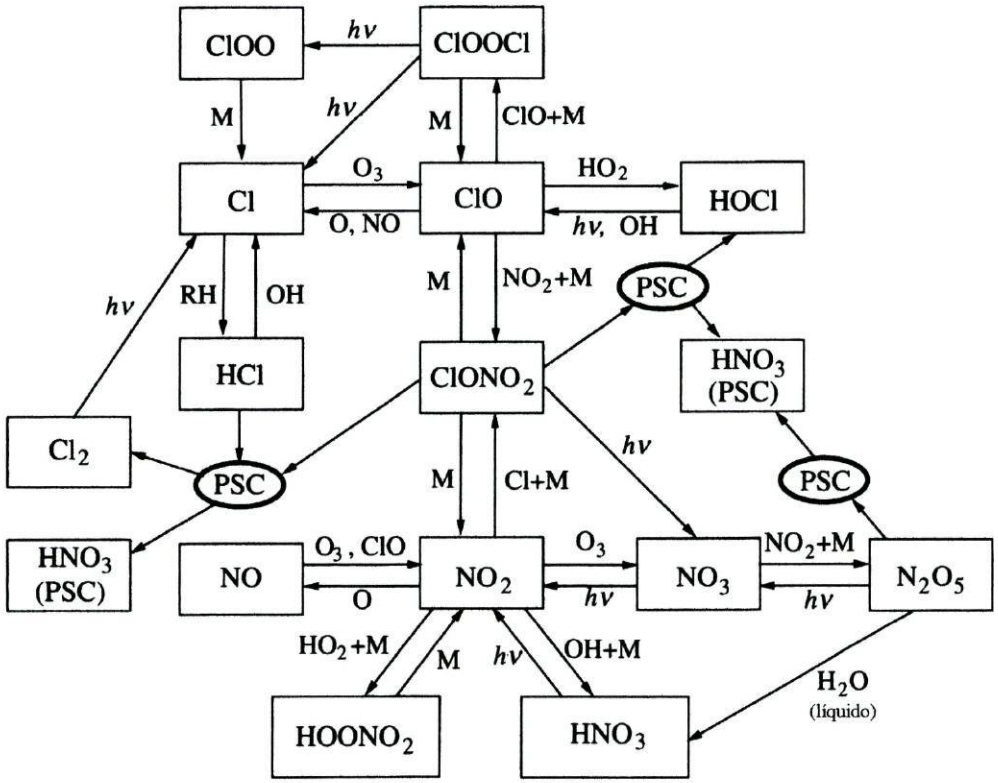


Fig. 28- Ciclos catalíticos que envolvem espécies de cloro na química do "buraco do ozono" (VANLOON e DUFFY, 2000)

3.3.6. A resposta social e política

Atendendo aos quadros dramáticos associados ao "buraco do ozono" tornou-se necessária uma resposta do mundo, quer a nível social, quer a nível político, pois este problema ambiental colocado inconscientemente pelo Homem produz efeitos não apenas locais, mas de ordem global.

Os primeiros relatórios sobre a diminuição da espessura da camada de ozono são hoje reconhecidos como um ponto de viragem, pois a partir de então têm surgido inúmeros esforços internacionais no sentido de coordenar medidas com o objectivo de reduzir o problema. Um destes esforços é o "Protocolo de Montreal sobre substâncias que reduzem a Camada de Ozono". Este acordo contou com os diversos signatários para gradualmente eliminarem as substâncias destruidoras do ozono, contudo ao longo dos tempos tem sofrido várias modificações, pois em determinadas alturas (por exemplo, durante 1980) as perdas de ozono foram maiores do que as previstas.

Porém, segundo os ambientalistas, esta medida é de manter, mas é ainda insuficiente, pelo facto de existirem já muitas toneladas de CFCs em circulação na atmosfera e a caminho da camada de ozono. Isto porque depois de que o problema foi identificado, passou muito tempo antes que quaisquer iniciativas de combate fossem tomadas. Ao mesmo tempo existe ainda uma enorme reserva destes compostos nos frigoríficos domésticos, nos sistemas de ar condicionado, nos sistemas de arrefecimento comercial e nos materiais isolantes, o que faz com que a quantidade já existente na atmosfera continue mesmo assim a crescer (YEARLEY, 1992).

Se, por "milagrosa" acção, fosse eliminada hoje a emissão dos CFCs para a atmosfera a diminuição da quantidade de ozono na estratosfera continuaria por mais 20 anos devido à vida muito longa destes compostos na atmosfera, resultante da sua baixa reactividade química. Atendendo a que a vida média dos CFCs é de aproximadamente 120 anos, isto implica que 90% das moléculas presentes em 1987 ainda existiam no ano 2000, 39% existirão em 2100 e 7% em 2300. Ou seja, os danos existentes na camada de ozono manter-se-ão pelo menos até ao século XXII (SANTOS, 1990).

Como seria de esperar, já começaram a surgir algumas ideias surpreendentes para resolver este problema ambiental e social. Investigadores russos apresentaram um estudo segundo o qual seria possível reparar a camada de ozono, utilizando equipamentos de raios laser e satélites. O projecto consiste na montagem de um sistema de 30 a 50 satélites que bombardeiam a atmosfera com raios laser de grande potência, estimulando a produção de ozono. Estes cientistas acreditam que o problema pode ser contornado em dez anos, embora

com custos (literalmente) astronómicos. Porém, mesmo que exequível, este projecto tal como muitos outros do mesmo cariz, e tendo por base a amostragem de todos os fracassos humanos já coleccionados nas tentativas de dominar, intervir ou mesmo prever fenómenos da natureza, estaria provavelmente votado ao fracasso (REIS, 2002).

Assim sendo, as esperanças para a protecção da camada de ozono estão depositadas em iniciativas não tão grandiosas, nem tão dispendiosas, como sejam a pesquisa de substâncias alternativas. Algumas dessas alternativas encontram-se listadas na Tabela 8.

Tabela 8- Alternativas aos CFCs

Alternativas aos CFCs	**Prós**	**Contras**
HCFCs (hidroclorofluor-carbonetos	-degradam-se mais rapidamente (2-20 anos); -são 90% menos perigosos para a camada de ozono; -podem ser usados como sprays (aerossóis), refrigeração, ar condicionado, espumas e agentes de limpeza (embora com restrições).	-são gases de estufa; -destroem o ozono, especialmente se usados em grandes quantidades; -efeitos para a saúde ainda desconhecidos; -HCFC-123 causam tumores no pâncreas; -podem baixar a eficiência energética das suas aplicações.
HFCs (hidrogenocarbo-netos	-degradam-se mais depressa (2-20 anos); -não contêm o cloro, destruidor do ozono; -podem ser usados como sprays (aerossóis), refrigeradores, ar condicionado e espumas.	-são gases de estufa; -estão por resolver questões relacionadas com inflamabilidade e toxicidade; -causam diminuição da eficiência energética; -a produção de HCFC-134a, um substituto na refrigeração, produz igual quantidade de metilclorofórmio, um sério destruidor da camada de ozono.
Hidrocarbonetos (propano, butano)	-económicos e de fácil aplicação; -podem ser usados em sprays, espumas, refrigeração e agentes de limpeza.	-podem ser venenosos; -são inflamáveis; -provocam poluição ao nível do solo.
Amónio	-alternativa simples para refrigeração, largamente usada antes dos CFCs.	-tóxicos por inalação; -devem ser manuseados cuidadosamente.
Água e vapor	-eficaz para algumas operações de limpeza de instrumentos médicos.	-cria água poluída, que tem que ser tratada; -desperdiça água, a menos que seja despoluída e reutilizada.
Terpenos (casca de citrinos)	-eficaz na limpeza de peças electrónicas.	-nenhuns.
Hélio	-eficaz na refrigeração em frigoríficos, ar condicionado e arcas frigoríficas.	-este gás pode tornar-se escasso se usado em larga escala.

Contudo, há que notar que estas substâncias alternativas ainda apresentam questões problemáticas que necessitam de ser resolvidas, como seja o facto de algumas delas serem gases com um enorme potencial para aumentarem o efeito de estufa e assim agravarem os problemas de alterações climáticas.

Em termos práticos, grande parte os CFCs têm sido substituídos pelos HCFCs (hidroclorofluorcarbonetos), apesar destes também degradarem o ozono. Contudo, como se representa na Fig. 29, usam-se porque fazem-no numa fracção inferior, pois apresentam um tempo de vida muito menor.

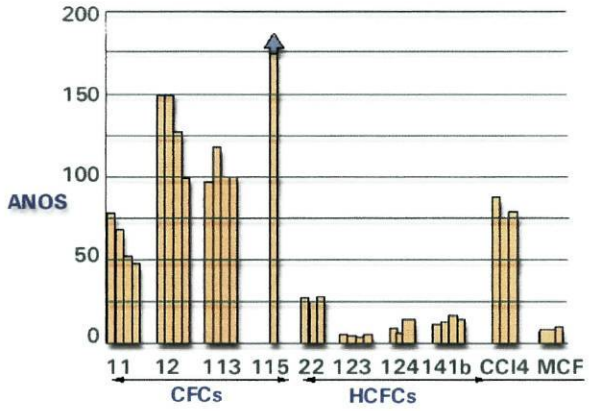


Fig. 29- Períodos de vida média dos clorofluorcarbonetos e dos hidroclorofluorcarbonetos na atmosfera

Concluindo, podemos dizer que a protecção de ozono é um episódio notório da história humana. Desde as primeiras advertências, de que algo ocorria na estratosfera devido a uma substância química industrial praticamente inerte e altamente útil, passando pelo desenvolvimento do Protocolo de Montreal, e os passos finais da eliminação dos CFCs que ainda estão a acontecer, o mundo mostrou poder responder colectivamente e efectivamente perante uma clara ameaça.

Porém temos que reconhecer que, apesar da identificação do problema resultar de um conjunto de análises técnicas e científicas muito sofisticadas e dispendiosas, que não só são difíceis mas também passíveis de várias interpretações, este é um problema visivelmente simples, na medida em que, um único produto industrial constitui-se numa ameaça a um fenómeno natural particular. Assim sendo, se for possível descobrir um substituto para os CFCs, de modo a que a sua utilização seja totalmente abandonada, a camada de ozono reconstituir-se-á gradualmente a si própria (YEARLEY, 1992).

Apesar de ainda hoje o estado actual do ambiente reflectir em geral uma filosofia de domínio da natureza pelo Homem, acreditamos que a espécie humana, como inteligente que é

será capaz de encontrar soluções para este problema global (Fig. 30). O conveniente é não adiar mais a prevenção ambiental para o futuro, pois se o ritmo actual de poluição e degradação continuar, a espécie humana poderá deixar de ter condições de sobrevivência. É esta também a conclusão que se pretende que todos os elementos envolvidos no estudo independentemente do tipo de abordagem fiquem sensibilizados.

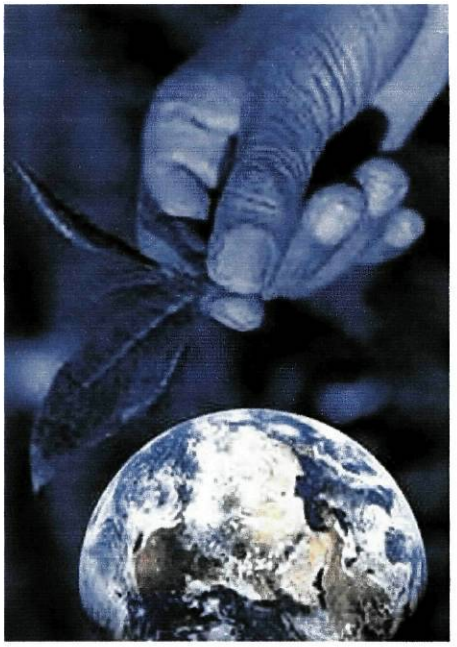


Fig. 30- A protecção do mundo pelo Homem (COLLEGE, 2003)

4. Contextualização didáctica

4. Contextualização didáctica

4.1. O ensino das Ciências – Breve retrospectiva

> *"Aprendizagem... uma ideia esquiva, quase sempre suposta, pelo menos nos meios educacionais; mas também,... um tema crucial para e na escola; um processo de vida, que é o que muitas vezes pensamos quando perguntados."*
>
> COLINVAUX, 2002

A aprendizagem em qualquer nível educacional é um tema central para a educação. Basta pensar que as reformas educacionais visam, em última análise, organizar e assegurar condições para que todas as crianças e adolescentes possam de facto aprender o que lhes é proposto nas escolas.

Nos seus primórdios, o interesse da investigação no ensino das Ciências, incluindo a química, foi resultado de um movimento de reforma curricular que ocorreu principalmente nos Estados Unidos e Inglaterra no início da década de 60. Na época, o modelo de pedagogia tinha o seu fulcro nas exposições orais do professor – "Aprendizagem por Transmissão".

Este modelo assentava no pressuposto epistemológico de que os conhecimentos existem fora de nós e na ideia de que para aprender é suficiente ouvir com atenção. Admite que o professor é o possuidor dos conhecimentos, o detentor do saber e que pode transmiti-lo ao aluno que o "arquiva" de forma sequencial no seu cérebro, para o reproduzir mais tarde (JÚNIOR, 1998), presumindo-se assim que o professor pode transmitir ideias pensadas por si ou por outros (conteúdos) ao aluno.

Com o tempo, esta pedagogia é acusada de monótona (repetitiva e com ritmo uniforme), de base memorística, de motivação extrínseca, onde o papel do erro é entendido como negativo e cujo objectivo da avaliação é a medição de conhecimentos armazenados, à medida que estes vão sendo reproduzidos (SANTOS, 1992). Estas acusações levaram ao inflamar de novas pedagogias do ensino das Ciências tais como: a "Aprendizagem por Objectivos" e a "Aprendizagem pela Descoberta".

Na "Aprendizagem por Objectivos", o objectivo do ensino reside na modificação das respostas dos alunos perante os estímulos. A principal tarefa do professor é conseguir que os alunos alcancem determinados objectivos, que são definidos de forma muito específica e em

termos de comportamentos. De facto, o professor é mesmo entendido como um arquitecto e construtor de conhecimentos.

Quanto ao segundo modelo, "Aprendizagem pela Descoberta", marcado a nível epistemológico e psicológico por perspectivas empiristas e behavioristas, parte da convicção de que os alunos aprendem, a partir da observação, qualquer conteúdo científico. Surgindo assim a ideia de que todos os conceitos nascem natural e espontaneamente a partir de um processo único, radicado na experiência, concreta e directa, criando-se assim a ilusão de universalidade e de espontaneidade.

Nesta perspectiva, os trabalhos experimentais radicados no sensorial e no imediato são considerados como os responsáveis pela descoberta de factos "novos", considerando-se que é a interpretação destes que conduz, de forma natural e espontânea, à descoberta de ideias, desde as mais simples às mais elaboradas (SANTOS, 1992).

Este modelo contribui assim para que o professor imprima invariavelmente às suas estratégias um caminho linear e sequencial que consagra um método universal para construir todo e qualquer conceito – método científico (JÚNIOR, 1998).

A didáctica das Ciências deu à "Aprendizagem pela Descoberta" um acolhimento mais ou menos consensual, a nível teórico, durante os anos 60 e 70. Entre nós, só a partir da década de 70 alguns currículos passam a ser baseados neste projecto.

Após a fase de estabilidade e de consenso, seguiu-se nos anos 80 um período de crise e de incerteza, em que se questionam muitas das características deste paradigma, nomeadamente: a muito enfatizada aprendizagem intuitiva, a pretensão de que o aluno descobre por si sistematicamente ideias a partir de factos (considerando-se que se caminha de forma mecânica, linear, invariável, perene e universal dos factos para as ideias – "mito do método científico" (JÚNIOR, 1998)) e ainda a convicção de que todos os conteúdos são produtos incidentais e colaterais de processos mais ou menos intuitivos (SANTOS, 1992).

Após esta nova crise no ensino das Ciências abriram-se as portas para o "Movimento das Concepções Alternativas", rotulado como modelo de raiz cognitivista/construtivista, fundamentado em orientações epistemológicas de sentido racionalista.

Os primeiros trabalhos nesta área remontam a princípios da década de 70, mas é sobretudo durante a década de 80 que proliferaram muitas das investigações existentes.

Até então os modelos de aprendizagem existentes ignoravam os conceitos que o aluno construía de forma espontânea até à instrução formal (SANTOS, 1992). Ao adquirir-se esta consciência faz-se emergir um modelo de ensino caracterizado pela valorização das ideias e

dos conhecimentos prévios dos alunos, em que se pressupõe que aprender é um processo pessoal e activo de construção de conhecimento.

Esta perspectiva construtivista opõe-se claramente à ideia de que no processo ensino-aprendizagem o aluno seja um elemento passivo, apenas receptor de saberes transmitidos e implica que seja considerado um sujeito activo, possuidor de vivências e objectivos próprios que lhe permitem interagir com o meio físico e social, influenciando assim as novas aprendizagens (MARTINS e VEIGA, 1999).

Esta filosofia de aprendizagem baseia-se na premissa de que, pela reflexão nas nossas experiências, construímos a nossa compreensão do mundo. Cada um de nós cria as suas "regras" e "modelos mentais" que usa para fazer sentido às suas experiências. A aprendizagem, deste modo, é um simples processo de ajuste dos nossos modelos mentais para acomodar as nossas experiências. Isto significa admitir que, nas mais diversas áreas a par com as aprendizagens formais, os alunos possuem "teorias informais" que afectam necessariamente a sua visão do quotidiano (MARTINS e VEIGA, 1999).

Neste modelo, enquanto o aluno é encarado como construtor activo do seu próprio conhecimento, o professor passa a desempenhar o importante papel de mediador entre o conhecimento científico e o conhecimento do aluno, facilitando assim, a mudança de conhecimento de tipo "senso comum" para o conhecimento científico.

Os psicólogos Piaget e Ausubel são apontados como precursores deste "Movimento das Concepções Alternativas", ainda que os seus percursos sejam divergentes em aspectos significativos. De facto é atribuído a ambos, mas por motivos diferentes, a paternidade desta filosofia de aprendizagem:

- "a Piaget, pela análise que faz das representações do mundo que se dão espontaneamente na criança no decurso do seu desenvolvimento intelectual;

- a Ausubel, pelo valor que atribui, na aprendizagem, à "estrutura cognitiva" enquanto conteúdo substantivo e organização das ideias para áreas particulares do conhecimento" (SANTOS, 1995).

4.1.1. O estudo das Concepções Alternativas (CA´s)

Actualmente este é o paradigma dominante na didáctica das Ciências, tendo por base a ideia de que o nosso conhecimento do mundo é uma construção humana. Neste sentido, cada aluno chega à escola com uma Ciência intuitiva, um conhecimento informal sobre o mundo social, histórico e económico, além de uma psicologia intuitiva que, no seu dia-a-dia, lhe conferem adaptabilidade (POZO, 1996).

Assim, a mente do aluno não pode mais ser considerada como algo vazio que o professor pode "encher" de ideias e explicações, sem que o aluno precise participar activamente, do ponto de vista cognitivo nesse processo. Na realidade, acreditamos que os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conteúdos a estudar só podem ser efectivamente substituídos pelos conhecimentos novos e cientificamente aceites quando se sobrepõem aos existentes, os quais são abandonados por estes os considerarem inadequados ou mesmo incorrectos (LEITE, 1993).

Nesta altura, estamos convencidos que embora possam muitos outros factores contribuir para o insucesso do processo de ensino-aprendizagem das Ciências, também se deve ao facto de que a existência destas concepções prévias continua a ser ignorada ou inadequadamente considerada ao longo deste processo (LEITE, 1993).

Assim sendo, e de acordo com as investigações mais recentes é essencial dedicar particular atenção às ideias e às explicações que os alunos trazem para a escola, sobre os mais diversos domínios, que poderão ser mais ou menos divergentes dos conceitos cientificamente aceites, e que com frequência, não são capazes de explicitar (MARTINS e VEIGA, 1999).

Diversidade de terminologia

Um aspecto que ressalta da literatura prende-se com a grande variedade na terminologia usada, para estas concepções. Estas têm sido frequentemente referidas como: "pré-conceitos" (*preconceptions*, Novak, 1977; Andersson, 1986), "teorias naturais e espontâneas" (*naive theories*, Mintzes, 1984), "esquemas conceptuais alternativos" (*alternative frameworks*, Driver & Easley, 1978; Driver, 1981 e 1983; Nussbaum & Novick, 1982), "ciência das crianças" (*children's science*, Osborne, Bell & Gilbert, 1983; Gilbert, Osborne & Fensham, 1982), "ideias científicas das crianças" (*children's ideas in science*, Driver, Guesne & Tiberghien, 1985) ou ainda como "concepções alternativas" (*misconceptions*, Abimbola, 1988).

Contudo, há que notar que em alguns dos casos não são mais do que diferentes designações para a mesma realidade, sendo frequentemente o reflexo de diferenças significativas de enquadramento teórico (ROQUE, 1999).

Neste trabalho, optámos pela designação concepção alternativa (CA), já que não reflecte qualquer juízo acerca da correcção destas concepções e por outro lado, reflecte que essas concepções são diferentes das concepções científicas (RIBEIRO, 1990).

De acordo com SANTOS (1992) esta é mesmo a designação mais adequada pois, o termo **"Concepção"** refere-se a uma representação pessoal, de raiz afectiva, mais ou menos espontânea, mais ou menos dependente do contexto, mais ou menos solidária de uma estrutura que é compartilhada por grupos de alunos. Além disso **"Alternativa"** reforça a ideia de que tais concepções não têm o estatuto de conceitos científicos, que diferem significativamente destes, quer a nível do produto quer a nível de processo de construção e que funcionam, para o aluno, como alternativa aos conceitos científicos correspondentes.

4.1.2. A origem das CA's

A origem das CA's dos alunos é um campo de interesse para muitos autores. Vários estudos têm sido levados a cabo por inúmeros investigadores na educação em Ciências. Em 1996, Pozo (citado por MARTINS e VEIGA, 1999) propôs mesmo três vias para explicar o seu aparecimento: a sensorial, a cultural e a analógica.

"Uma origem sensorial, para explicar o que designa por "concepções espontâneas" na percepção de fenómenos, processos e observações na vida quotidiana; uma origem cultural, para explicar as chamadas "concepções sociais" resultantes da influência do meio social e cultural que envolve o aluno, sendo a sua transmissão feita através da linguagem; uma origem analógica, para explicar as "concepções analógicas", que aparecem no desempenho de tarefas onde são estabelecidas analogias com ideias ou esquemas de conhecimentos provenientes de outras áreas".

Exemplos disso, são as palavras da linguagem diária que têm sido adoptadas nos problemas ambientais como sejam *camada* em "camada de ozono" e *estufa* em "efeito de estufa". Os cientistas quando usam estas palavras sabem o seu verdadeiro significado usam-nas apenas como analogias, porém os estudantes usam-nas com frequência como referentes aos factos de todos os dias, como se constata por exemplo pelas concepções B1, B3 e B4 (ver em 4.2) em que a palavra *camada* surge associada ao conceito de barreira.

Outros educadores em ciência (LEITE, 1993) têm sugerido outros factores para o desenvolvimento destas concepções, como sejam:

- A nível individual e social: as crenças; as opiniões permitidas e até encorajadas, na sociedade; a linguagem de uso corrente, em particular linguagem metafórica; as experiências do dia-a-dia.

- A nível do ensino formal: as ideias veiculadas pelos professores e pelos manuais escolares; o tratamento didáctico dos termos; o recurso a determinados métodos de

abordagem dos termos; a ausência de conhecimentos do professor sobre a possível existência de CA's dos alunos.

4.1.3. Características das CA's

Apesar da abrangência temática que a pesquisa cobre, da diversidade de técnicas de colheita e análise de dados utilizada, de divergências quanto à origem e natureza de tais concepções, da heterogeneidade cultural, linguística e social das crianças envolvidas na pesquisa, é possível comparar os resultados obtidos sobre as CA's dos alunos.

São várias as características que lhes podemos atribuir. Em cada uma delas apresentaremos exemplos das CA's encontradas na literatura e que se encontram citadas no capítulo 4.2.

São pessoais

As CA's são representações que cada indivíduo faz do mundo, dependendo da sua própria maneira de o ver e de se ver a si próprio. Desta forma, cada indivíduo interioriza cada experiência de uma maneira que lhe é própria (SANTOS, 1995).

Isto significa que uma determinada situação natural ou experimental é vista e interpretada por pessoas diferentes, de formas diferentes. Esta interpretação depende das anteriores experiências de cada indivíduo e dos conhecimentos que este possui e é capaz de relacionar com a nova situação.

Isto é visível em:

- A3, A4, A5 e A6, em que diferentes alunos vêem de forma diferente a Camada de Ozono;

- C1, C3, C4 e C5 em que diferentes alunos atribuem diferentes razões para a origem do "Buraco na camada de ozono"

Porém, como verificamos existem várias pessoas a partilhar a mesma ideia (LEITE, 1993). Numerosos estudos evidenciam a existência de ideias semelhantes em comunidades distintas, demonstrando mesmo uma certa independência da idade, da capacidade intelectual, da religião e do sexo, ou seja algumas CA's apresentam um carácter universal.

Apresentam coerência interna e natureza estruturada

As CA's são sentidas como sensatas e úteis pelos alunos, pois em função dos seus modelos de pensamento, apresentam um valor significativo.

De facto, não se tratam de ideias irracionais, mas sim ideias fundamentadas em premissas apenas diferentes (DRIVER, 1986 citado por SANTOS, 1995). Chegam mesmo, em muitos casos, a apresentar semelhanças com modelos históricos já abandonados, mas propostos ao longo da história da ciência (ROQUE, 1999). São frequentemente chamadas representações aristotélicas das crianças.

As CA's constituem de facto um corpo organizado de conhecimentos que cada indivíduo constrói espontaneamente, para fazer face a diversas experiências que acontecem à sua volta (SANTOS, 1995). De início, estas são mais ou menos simples e mais ou menos isoladas, mas progressivamente, vão-se tornando mais gerais e complexas.

Isto é notório nas CA's referenciadas de B1 a B12 em que os alunos explicam a função da camada de ozono atendendo aos seus próprios modelos mentais.

Esquemas resistentes à mudança e regressivos

A persistência das CA's dos alunos, ou seja a sua estabilidade e resistência à mudança é notoriamente um dos aspectos mais preocupantes.

De facto, estas concepções encontram-se profundamente ancoradas no espírito do aluno, resistindo mesmo ao ensino formal. Vários estudos empíricos longitudinais têm demonstrado que os vários métodos "tradicionais" de ensino (e não só) são frequentemente impotentes para as vencer.

O ensino das ciências não é tão efectivo quanto o professor pensa ou, pelo menos, o ensino de certos conceitos não tem o impacto desejado sobre CA's fundamentais. Mesmo quando através de evidências as CA's são postas em causa, os alunos têm dificuldades em abandoná-las, pelo que rejeitam a evidência ou interpretam-na em função das suas ideias prévias e de forma a poderem mantê-las (LEITE, 1993).

Muitos outros estudos revelam ainda que após algum tempo, a aprendizagem formal de um determinado tema pode não resultar pois os alunos regressam aos mesmos conceitos que utilizavam antes da aprendizagem. O que acontece é que o verbalismo de certas aquisições escolares mascara a persistência das CA's. De facto as CA's, depois de um período de latência temporário – "enquistamento" – reaparecem, ocasionando uma paragem na evolução de determinados conceitos (SANTOS, 1995).

Este facto é compreensível na medida em que não podemos esperar que determinadas aprendizagens que se realizam em poucas horas possam substituir concepções geradas ao longo de toda a vida (ROQUE, 1999).

São exemplos as concepções D1 e D2, pois alunos do ensino primário (amostra usada por KOULAIDIS 99) apresentam as mesmas CA's que os alunos mais velhos.

Esquemas pouco consistentes

Algumas das CA's são mesmo contraditórias. As crianças tendem a usar concepções diferentes para interpretar situações que exigem a mesma explicação e usam as mesmas concepções para interpretar situações que exigem explicações diferentes (SANTOS, 1995). Isto pode ficar a dever-se ao facto dos alunos tenderem a basear o seu raciocínio nas características observáveis das situações em causa e numa situação em que ocorram vários acontecimentos simultâneos e/ou interacções entre elementos de um sistema, os alunos tendem a centrar-se apenas numa parte (LEITE, 1993).

É o caso de:

- A1 e A2; A5, A6, A7 e A8 em que os alunos atribuem a localização do ozono e da camada de ozono a diferentes locais;

- A12 e A13 em que justificam de maneira diferente a produção do ozono.

4.2. Concepções alternativas no tema "Buraco na Camada de Ozono"

A forma como os alunos interpretam o mundo, estruturam o conhecimento e o utilizam todos os dias, tem sido, nas últimas décadas, alvo de numerosos estudos. Inspirados em diferentes "paradigmas", conduzidos segundo diferentes ângulos de análise e utilizando diferentes tipos de métodos e técnicas, tais estudos têm conduzido a importantes conclusões no que diz respeito ao ensino-aprendizagem das Ciências. (FREITAS, 1987)

Nos últimos trinta anos têm sido publicados muitos estudos que identificam e caracterizam as ideias que os alunos têm tendência a usar quando resolvem problemas de Ciência. Estudos esses que cobrem todos os níveis escolares, desde o ensino primário até ao ensino universitário, mas a maior parte deles dizem respeito ao ensino secundário (RIBEIRO, 1990).

A consciência da existência destas concepções exige, necessariamente, respostas didácticas adequadas, sendo esse mesmo o objectivo deste trabalho: promover o ensino-aprendizagem da temática da "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono".

Atendendo então a que os estudantes possuem já ideias sobre os conteúdos a estudar, não podemos encarar mais a aprendizagem das Ciências como tendo início, na escola, a partir do zero. Por isso mesmo, o objectivo desta parte do estudo é identificarmos e descrevemos as CA´s acerca de um problema global da "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono",

para que deste modo possamos planear, decidir e desenvolver de forma eficaz as diferentes metodologias de abordagem desta temática. Há que referir que encontramos na pesquisa efectuada mais CA´s do que aquelas que serão referenciadas, porém optámos por exclui-las por não as considerarmos pertinentes para o estudo.

Apesar de não ser fácil descrevemos de forma resumida um domínio tão vasto do ensino das Ciências como o das CA´s, para estruturar as tabelas seguintes apoiámo-nos essencialmente nos artigos referidos na Tabela 9 (PAIVA, 2000):

Tabela 9- Elementos relativos aos artigos usados: autor, ano e amostra

Autor	Ano	Amostra
BOYES	1993	861 estudantes dos 11 aos 16 anos
BOYES	1997	501 crianças dos 13 aos 14 anos, de 22 classes de 8 escolas secundárias escolhidas aleatoriamente
BOYES	1999	1161 estudantes dos 11 aos 16 anos
CRISTIDOU	1994	41 estudantes do 4º e 6º ano
DOROUGH	1995	22 estudantes do 5º e 6º ano
KHALID	1999	amostra de conveniência com 113 estudantes
KOULAIDIS	1999	40 estudantes de 3 escolas primárias
PLUNKETT	1994	45 estudantes do 4º ao 8º ano
POTTS	1996	136 crianças dos 12 aos 13 anos
RYE	1997	amostra de conveniência, de estudantes de 4 salas de aula de nível médio (duas do 6º ano, uma de 7º ano e uma do 8º ano)
LIBARKIN	2001	300 estudantes do 6º ao 12º ano, 25 professores e 8 cientistas

Em alguns casos é possível apresentar uma percentagem de população que evidencia uma determinada CA. Apesar destes números assentarem em amostras muito pouco significativas, e por isso de generalidade e validade discutíveis são dados que podem ajudar a quantificar a incidência de uma determinada CA.

As várias CA's aparecem divididas em sete áreas:

A- Associadas aos conceitos: "Ozono", "Camada de Ozono" e "Buraco na Camada de Ozono" (Tabela 10);

B- Função da Camada de Ozono (Tabela 11);

C- Factores responsáveis pelo "Buraco na Camada de Ozono" (Tabela 12);

D- Consequências do "Buraco na Camada de Ozono" (Tabela 13);

E- Origem dos CFCs (Tabela 14);

F- Consequências do uso dos CFCs (Tabela 15);

G- Associadas aos conceitos: "radiação visível" e "radiação ultravioleta" (Tabela 16).

Tabela 10- Concepções alternativas associadas aos conceitos: "Ozono", "Camada de Ozono" e "Buraco na Camada de Ozono"

Ref.	Concepção alternativa	Fonte	%
A	**Compreensão dos conceitos: "Ozono", "Camada de Ozono" e "Buraco na Camada de Ozono"**		
A1	O ozono encontra-se no interior das latas de spray	BOYES 99	
A2	O ozono encontra-se fora da atmosfera	KHALID 99 POTTS 96	4
A3	É uma camada de líquido	BOYES 99	
A4	É uma camada de lixo	BOYES 99	9
A5	É uma camada da nossa pele	BOYES 99	
A6	É uma camada à volta do sol	BOYES 99	23
A7	A camada de ozono encontra-se no espaço	POT 96	7
A8	A camada de ozono encontra-se no ar	POT 96	3
A9	É constituída por: - fumo - químicos - raios UV - ar	POT 96	3 4 4 10
A10	Apresenta uma espessura superior a 100 km	POT 96	26
A11	Existe na camada de ozono: - um só buraco - mais de 100000 buracos	POT 96	30 19
A12	As plantas produzem ozono	KHALID 99	
A13	O ozono pode ser produzido pelo "choque" da luz com moléculas de oxigénio no ar	KHALID 99	
A14	A diminuição da camada de ozono ocorre apenas no Pólo Sul	RYE 97	

Tabela 11- Concepções alternativas sobre a função da Camada de Ozono

Ref.	Concepção alternativa	Fonte	%
B	**Função da Camada de Ozono**		
B1	Proteger da chuva ácida	BOYES 99	35
B2	Manter a temperatura, assegurar a vida e o crescimento	KHALID 99	
B3	Proteger do sol	KHALID 99	
B4	Evitar excesso de luz e de calor (calor este que pode conduzir a morte)	KHALID 99	
B5	Evitar queimaduras	KHALID 99	
B6	Assegurar que a temperatura não se torne demasiado elevada	KHALID 99	
B7	Ajudar a filtrar as toxinas perigosas	KHALID 99	
B8	Proteger o Homem e as plantas de químicos prejudiciais	KHALID 99	
B9	Manter o oxigénio	KHALID 99	
B10	Controlar o que entra e o que existe na atmosfera; A camada de ozono é como uma membrana celular	KHALID 99	
B11	Proteger a nossa atmosfera	KHALID 99	
B12	Proteger dos gases perigosos	KHALID 99	

Tabela 12- Concepções alternativas sobre os factores responsáveis pelo "Buraco na Camada de Ozono"

Ref.	Concepção alternativa	Fonte	%
C	**Factores responsáveis pelo "Buraco na Camada de Ozono"**		
C1	O efeito de estufa	BOYES 99 KHALID 99 POTTS 96	25 3
C2	O efeito de estufa ao mudar os padrões do tempo, na medida em que pode: - aumentar a abundância da chuva; - aumentar a frequência do vento; - facilitar que mais fumo suba na atmosfera	 BOYES 97 BOYES 97 BOYES 97	 8 9 72
C3	O sol	BOYES 97	26
C4	O dióxido de carbono	BOYES 97 KHALID 99 POTTS 96 RYE 97	55 13
C5	Toda a poluição	BOYES 97 KHALID 99 RYE 97	84
C6	A radioactividade	BOYES 99	70
C7	A poluição das marés	BOYES 99	25
C8	Os gases usados na manufactura dos plásticos	BOYES 99	
C9	A destruição da floresta	BOYES 99	43
C10	As emissões de poluentes: - dos carros - das fábricas	BOYES 99 KHALID 99 POTTS 96 BOYES 99 KHALID 99 POTTS 96	80 29 80 6
C11	As erupções dos vulcões	BOYES 99	20
C12	A chuva ácida	BOYES 99	25
C13	Os químicos perigosos	KHALID 99	
C14	Os materiais domésticos como: detergentes, gasolina, branqueadores e desodorizantes.	KHALID 99	
C15	Os gases muito perigosos emitidos pelas fábricas	KHALID 99	
C16	O barulho	POTTS 96	3
C17	As centrais nucleares	POTTS 96	6

C18	O petróleo	POTTS 96	6
C19	O lixo	POTTS 96	7
C20	Os incêndios	POTTS 96	7
C21	O fumo	POTTS 96	25

Ao analisarmos cuidadosamente as causas do "buraco do ozono" referidas pelos alunos constatamos que as crianças fundem e confundem as bem publicitadas causas do efeito de estufa e da diminuição espessura da camada de ozono, além de que também criam analogias próprias e modelos coerentes e robustos de como estes fenómenos acontecem.

Tabela 13- Concepções alternativas sobre as consequências do "Buraco na Camada de Ozono"

Ref.	Concepção alternativa	Fonte	%
D	**Consequências do "Buraco na Camada de Ozono"**		
D1	Aparecimento do efeito de estufa	BOYES 93 BOYES 99 DOROUGH 95 KHALID 99 KOULAIDS 99 POTTS 96 RYE 97	44 5 64
D2	Permitir que os raios solares entrem na atmosfera (contudo, estes não "encontram" esses buracos para escaparem)	BOYES 97 KOULAIDS 99	38 12
D3	Permitir que mais raios de calor entrem na atmosfera	BOYES 97	83
D4	Facilitar de alguma maneira, que o ar se escape para o espaço – particularmente ar frio a elevadas altitudes	BOYES 97 BOYES 99	36 25
D5	Promover o crescimento mais rápido das colheitas	BOYES 99 POT 96	
D6	Aumento do envenenamento dos peixes nos rios	BOYES 99	40
D7	Destruição das colheitas	BOYES 99	50
D8	Aumento das inundações	BOYES 99 POT 96	25 7
D9	Aumento dos ataques do coração no Homem	BOYES 99	50
D10	Aumento das doenças/germes	BOYES 99	50
D11	Aumento da água imprópria para consumo	BOYES 99	40
D12	Aquecimento da Terra e fusão do gelo das calotes polares	CRISTIDOU 94	63
D13	Alterações climáticas que incluem a fusão das calotes polares	PLUNKETT 94 POTTS 96	25 7
D14	Aumento do calor e das secas	POTTS 96	
D15	Subida do nível do mar	POTTS 96	11

Tabela 14- Concepções alternativas sobre a origem dos CFCs

Ref.	Concepção alternativa	Fonte	%
E	**Origem dos CFCs**		
E1	Na poluição	KHALID 99	
E2	Nas emissões dos carros	KHALID 99	

Tabela 15- Concepções alternativas sobre as consequências do uso dos CFCs

Ref.	Concepção alternativa	Fonte	%
F	**Consequências do uso dos CFCs**		
F1	Acelerar o efeito de estufa com consequente agravamento do "buraco na camada de ozono"	BOYES 93 RYE 97	
F2	Não existe nenhuma evidência de que os CFCs destruam a camada de ozono	KHALID 99	
F3	O dissolver da camada de ozono	KHALID 99	

Tabela 16- Concepções alternativas sobre os conceitos: "radiação visível" e "radiação ultravioleta"

Ref.	Concepção alternativa	Fonte	%
G	**Associadas aos conceitos: "radiação visível" e "radiação ultravioleta"**		
G1	A radiação ultravioleta é um tipo de luz visível vinda do Sol	LIBARKIN 01	
G2	Os humanos podem ver alguns objectos na presença apenas de radiação ultravioleta	LIBARKIN 01	
G3	As queimaduras solares estão associadas à luz visível	LIBARKIN 01	
G4	A radiação ultravioleta pode causar sérias mudanças climáticas como: ondas de calor, fusão do gelo polar, que por seu turno eleva o nível do mar, provoca inundações, ...	KOULAIDIS 99	

Se hoje está bem estudada, e é quase unanimemente reconhecida, a influência das CA's dos alunos na aprendizagem das Ciências, há ainda um longo trajecto a percorrer no que diz respeito à definição de estratégias para promover uma aprendizagem mais efectiva.

A consciência da existência e do poder das CA's torna impossível manter por mais tempo uma concepção do ensino como uma simples transmissão e acumulação de informação, acreditamos que cada vez mais o caminho para as aprendizagens efectivas terá que consistir

numa mudança gradual na forma de ver as coisas, pois só assim é possível a transição das CA's para as concepções científicas (ROQUE, 1999).

Assim sendo, a maneira de planificar as actividades tem que mudar, de forma a que se encontre uma linha condutora que promova eficazmente a aprendizagem do aluno, sendo a nosso ver necessário que os alunos tracem por si os degraus do que lhes é familiar para o novo. Por outras palavras, o aluno tem que, por ele próprio, fazer uma caminhada no pensamento (ROQUE, 1999).

Acreditamos ser essencial que o professor conheça e compreenda os factores que contribuem para a formação das CA's, para que de forma adequada auxiliem os alunos nessa caminhada para o sucesso, ao escolherem as estratégias mais ajustadas à abordagem didáctica em causa.

Esta foi a consciência que mantivemos no desenvolvimento das duas metodologias inovadoras de abordagem deste problema ambiental. Apesar das metodologias desenvolvidas nesta tese seguirem o mesmo fio condutor, uma apresentará forte componente laboratorial e uma outra forte componente multimédia. Além de explorarmos estas duas formas de abordar o problema, também as comparamos com a abordagem mais "tradicional", que é aquela que a nosso ver apresenta forte componente teórica (sem componente prática, laboratorial ou multimédia).

Nos próximos dois capítulos abordaremos o uso do ensino laboratorial (cap. 5.1) e multimédia (cap. 5.2), referindo para cada um deles a evolução histórica, possíveis vantagens e eventuais limitações.

5. Estratégias para o Ensino da problemática: "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera"

5. Estratégias para o Ensino da problemática: "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera"

5.1. Laboratório e Ensino da química

Como uma das estratégia para dar a conhecer a problemática da camada de ozono, propomos o trabalho experimental, pois a relevância deste na educação em Ciências tem sido amplamente reconhecida por cientistas, investigadores, professores e outros profissionais ligados à educação. Muitos destes profissionais, ao considerarem a Ciência uma actividade teórica e prática, concordam que o ensino apoiado laboratorialmente é imprescindível e contribui decisivamente para uma adequada educação científica dos jovens, favorecendo a denominada educação para a literacia científica.

As actividades laboratoriais são características únicas e carismáticas das aulas de Ciência. Acreditamos que todos os elementos intervenientes no processo de ensino-aprendizagem depositam enorme confiança nos seus benefícios. Os professores e educadores vêem-nas mesmo como fontes de elementos que proporcionam aos alunos a *aprendizagem das ciências*, ou seja, aquisição e a compreensão das teorias e dos conceitos-chave da disciplina científica, a *aprendizagem da natureza da Ciência*, permitindo-lhes debater o significado e os processos específicos da abordagem científica, e ainda a *prática da Ciência*, para que os alunos possam aprender praticando, um conjunto de conhecimentos metodológicos e técnicos necessários à investigação científica (MARQUES, 2002).

5.1.1. Diferentes perspectivas para o ensino experimental

O ensino experimental pode ser visto por diferentes perspectivas, adquirindo em cada uma delas sentidos diferentes.

Numa perspectiva empirista, as experiências são vistas como simples manipulação de variáveis, dedução ou reprodução de leis ou teorias. É então determinante a obtenção de um conjunto de dados, dotados de exterioridade, independentemente dos processos da sua obtenção, que depois de interpretados levam à generalização. As experiências pretendem quase só a confirmação positiva do já previsto, ou seja o objectivo destas é a confirmação das leis ou teorias das quais estão paradoxalmente afastadas. O trabalho experimental, nesta perspectiva surge, quase sempre, como um acontecimento episódico, totalmente afastado dos contextos sociais, políticos, tecnológicos e culturais da sua produção (PRAIA e CACHAPUZ, 1998).

Numa perspectiva racionalista-construtivista a experiência surge como um método pouco estruturado que comporta uma diversidade de caminhos, ajustando-se ao contexto e à própria situação investigativa, sendo apenas guiada por uma hipótese, que conduz muitas vezes ao aparecimento de novas hipóteses. Trata-se de um diálogo entre as hipóteses/teorias e a própria experimentação, na medida em que o teórico (o idealizado) e a prática (o realizado) se interligam. De acordo com esta perspectiva, os resultados obtidos no trabalho experimental são encarados como elementos (possíveis) de construção de modelos interpretativos do mundo e não cópias (fiéis) do real (PRAIA e CACHAPUZ, 1998). São indubitavelmente mais interessantes os frutos pedagógicos desta segunda abordagem do ensino experimental.

5.1.2. A evolução histórica do ensino experimental

Independentemente da perspectiva, o ensino experimental assume-se hoje, como mais um dos meios para ensinar e aprender Ciência. Contudo, houve tempos em que este era visto como a "panaceia universal" e a solução educacional para todos os problemas da aprendizagem (LOPES, 1994). No entanto, ao longo dos tempos foram-se verificando mudanças ao nível da educação das Ciências em geral (cap. 4.1) e do ensino experimental em particular, que dependeram mais do contexto social, histórico e tecnológico do momento do que da Ciência em si mesma.

Apesar da existência de laboratórios para a condução de pesquisas científicas, remontar já ao século XVII (SILVA, 1999), é só no século XIX, em Inglaterra, que são construídos e equipados os primeiros laboratórios para ensinar Ciências. No entanto, o uso do ensino experimental, no ensino da química, só começou a ganhar raízes com a publicação, por Eliot em 1887, do primeiro manual de química sobre os trabalhos práticos (TOMADELA, 1998).

O ensino experimental, nessa altura, consistia sobretudo em demonstrações feitas pelo professor, com o objectivo de suportar e confirmar as teorias, pois considerava-se que estas eram o essencial da aprendizagem, que consistia apenas na aquisição de conceitos, os quais deviam ser transmitidos ao aluno, que por sua vez devia ser capaz de os reproduzir (SILVA, 1999). Assim sendo, o objectivo fulcral do trabalho prático era ensinar os estudantes a aprender.

Nos finais do século XIX, surgiu a ideia de que o aluno só aprendia Ciência se fosse treinado a descobrir por ele próprio, criando-se assim alguma discordância, sobre qual a melhor forma de aprender Ciência.

Contudo, no início do século XX, devido a uma série de condicionalismos, a ideia de "aprender fazendo Ciência" cai em descrédito. Renasce então, por esta altura, de novo o interesse pelo trabalho prático como meio para verificar e confirmar as teorias ou ilustrar os conceitos. No entanto, o debate sobre qual das abordagens conduzia a uma aprendizagem mais efectiva continuou até final da década de 50 e início da de 60, apesar de não ter sido capaz de encontrar resposta para este problema. Porém, as pobres condições laboratoriais conduziram os professores ao progressivo abandono do trabalho experimental individual a favor da demonstração, que proporcionava mais economia de tempo e de meios (SILVA, 1999).

Entretanto, nos finais da década de 50, surge um novo modelo para a aprendizagem, já referido anteriormente - a Aprendizagem pela Descoberta - que na altura se conseguiu impor devido a projectos curriculares como os da Nuffield, em que os alunos eram encarados como "cientistas por um dia".

Com o avançar dos tempos, durante as décadas de 60 e 70, chega mesmo a encarar-se o trabalho experimental como elemento facilitador da aprendizagem e compreensão dos conceitos e princípios científicos e ainda como elemento promotor de competências inerentes às actividades de investigação científica, como sejam a previsão, a inferência e o controlo de variáveis. Por esta altura, o ensino experimental na educação científica é justificado com a necessidade dos alunos conhecerem e compreenderem as teorias científicas aceites e a forma como grande parte das investigações decorrem (MARQUES, 2002). No entanto, como esta Aprendizagem pela Descoberta só era efectiva se fosse muito estruturada, simplificada e eficazmente programada, foi-se tornando claro que o esquema Nuffield não conseguia atingir os seus principais objectivos. Na realidade, as actividades propostas, extremamente controladas, nunca permitiram a "descoberta", mas sim a "redescoberta".

Na década de 80 começou a ganhar importância a convicção de que o conhecimento dos conteúdos teóricos e o conhecimento dos processos da Ciência representavam domínios diferentes da educação científica, e que apesar de interligados, eram alcançados por metodologias de ensino distintas e independentes (MARQUES, 2002).

Nos últimos anos, tem-se verificado o aparecimento de inúmeros projectos que permitem simultaneamente o uso de conceitos e processos cognitivos e de competências práticas. Estes projectos têm associadas "investigações" que consistem num tipo particular de resolução de problemas, para os quais a solução não é óbvia e que conferem ao aluno um certo grau de autonomia no caminho entre as concepções alternativas e as concepções científicas (SILVA, 1999). É exemplo desta perspectiva de integração da actividade

laboratorial nos conceitos o programa no 10º e 11º ano do Ensino Secundário, em Física e Química A, que actualmente se encontra em vigor para todos os jovens que ingressaram no 10º ano de escolaridade.

5.1.3. A situação actual do ensino experimental

Quanto ao que acontece, actualmente, nos laboratórios das escolas, constatamos que há uma grande variedade de modelos para o trabalho experimental. Lopes (1994), com base em estudos publicados, concebeu quatro tipos de modelos que denominou:

- Modelo de trabalho experimental tipo demonstrativo (MTED)
- Modelo de trabalho experimental tipo indutor conceptual (MTEIC)
- Modelo de trabalho experimental tipo refutador (MTER)
- Modelo de trabalho experimental tipo investigativo (MTEI)

A função do primeiro modelo, MTED, é ilustrar factos e princípios como forma de dar credibilidade à informação teórica. O segundo modelo, MTEIC, pretende introduzir conceitos, teorias e leis. O modelo, MTER, consiste em promover conflitos cognitivos com vista à mudança conceptual. E o quarto modelo, MTEI, pretende aplicar os conhecimentos a novas situações através da resolução de problemas.

Modelo de trabalho experimental tipo demonstrativo (MTED)

Insere-se numa linha de Aprendizagem por Transmissão (referido em 4.1), pois em detrimento dos processos de construção, sobrevaloriza os conteúdos. Neste modelo, não é preocupação fundamental o desenvolvimento de capacidades e de atitudes ou a compreensão da natureza problemática da construção do conhecimento e da metodologia da Ciência. O trabalho experimental tem como objectivo ilustrar, certificar e dar credibilidade à informação teórica previamente apresentada.

Parte-se aqui do pressuposto, que já vimos inadequado, que o aluno é um receptor vazio, que se pode "encher" de conhecimentos através da informação transmitida pelo professor. O papel do aluno é fundamentalmente passivo, na medida em que as actividades são realizados pelo professor, ou por um grupo de alunos escolhidos por ele, segundo instruções dadas por este e/ou por uma ficha de trabalho que o encaminham para a observação de factos.

As demonstrações associadas a este modelo de trabalho experimental são por vezes necessárias e desejáveis, quando se tem em atenção os elevados custos na realização de

algumas experiências, procedimentos perigosos e a manipulação apropriadas de algum equipamento.

Modelo de trabalho experimental tipo indutor conceptual (MTEIC)

Circunscreve-se na linha da Aprendizagem pela Descoberta (referido em 4.1), partindo-se do pressuposto que o aluno é capaz, através da observação dos factos, de alcançar os conceitos e/ou teorias. Deste modo, encara-se a actividade experimental como fonte de conhecimento ou pretexto para, operacionalmente, se chegar a ele.

Neste modelo, como se considera que o ponto de partida para a construção do conhecimento são a observação e os dados colhidos, estes assumem um papel fundamental. As capacidades manipulativas e os aspectos técnicos são sobrevalorizados, dada a importância que assumem na obtenção dos "bons" resultados.

O papel do aluno, encarado aqui como um "pequeno cientista", é seguir as instruções dadas pelo professor e/ou pela ficha de trabalho, sendo de notar que a aprendizagem por descoberta frequentemente torna-se numa "pseudo descoberta do inevitável" ou seja, numa "redescoberta".

Modelo de trabalho experimental tipo refutador (MTER)

Insere-se numa linha construtivista da aprendizagem. As actividades experimentais são construídas de modo a dar resposta às necessidades dos diferentes alunos, tendo em conta as suas concepções prévias. Pretende-se com este modelo de trabalho experimental, provocar conflitos cognitivos nos diferentes alunos, motivando-os a abandonarem, se necessário, os seus modelos substituindo-os por outros mais adequados.

Neste modelo, o aluno assume um papel fundamental na (re)construção do conhecimento, pois constrói modelos mentais acerca do que o rodeia e todas as novas experiências são interpretadas e compreendidas em função desses modelos ou esquemas mentais.

Modelo de trabalho experimental tipo investigativo (MTEI)

Neste modelo o ponto-chave é o desenvolvimento de capacidades nos alunos, pois dá-se-lhes a possibilidade destes se aperceberem da natureza da Ciência e dos processos inerentes à sua construção. Pretende-se neste tipo de trabalho experimental, a realização de investigações e projectos, em que os alunos trabalhem como "verdadeiros cientistas" na resolução de problemas, usando a sua própria imaginação. O professor assume aqui o papel de

"director da investigação", prestando especial atenção ao desenho da experimentação, à escolha e uso dos recursos e à recolha e interpretação dos resultados.

Neste modelo, ao envolver-se os alunos na realização das suas próprias investigações e/ou projectos não se pretende ilustrar ou verificar um princípio ou uma lei científica, pois admite-se que os alunos conhecem e compreendem as teorias aceites pela comunidade científica. Pretende-se sim:

- Fazer o balanço sobre a mudança conceptual, isto é, proporcionar aos alunos a possibilidade de aplicar as ideias (re)estruturadas a situações novas;

- Aproximar as actividades de trabalho experimental com os processos e metodologias de ciência na resolução de problemas (Ênfase na relação Ciência/Sociedade)

- Incentivar a realização de projectos e inventos (Ênfase na relação Técnica/Sociedade).

A implementação de qualquer um destes modelos além de depender dos alunos depende de inúmeros condicionantes, nomeadamente (LOPES, 1994):

- (In) existência e (In) disponibilidade de materiais e/ou reagentes e em quantidade suficiente;
- (In) possibilidade de improvisação de materiais e/ou reagentes;
- (In) possibilidade de transporte de materiais e reagentes para a sala de aula;
- (In) existência de um espaço físico adequado à realização do trabalho experimental;
- (In) existência de condições de segurança;
- (In) disponibilidade de tempo para cumprir o programa;
- (In) existência de um número adequado de alunos por turma;
- (In) existência de um funcionário e/ou técnico de apoio aos laboratórios;
- (Des) conhecimento por parte dos professores de Ciência, dos modelos de trabalho experimental existentes e as suas bases epistemológicas;
- (Des) conhecimento adequado, pelos alunos, dos conceitos básicos de laboratório;
- (In) existência, nos alunos, de conhecimento fragmentado e não sistematizado.

5.1.4. Vantagens e limitações do ensino experimental

Em todas as actividades de ensino, é fundamental estar consciente das potencialidades e limitações de qualquer tipo de estratégia e o trabalho experimental não é excepção. Inúmeros estudos apresentam vantagens e limitações educativas destas actividades, as quais

serão sucintamente enumeradas nas tabelas seguintes (ALMEIDA, 2001; MARQUES, 2002; PEIXOTO, 1996; SILVA, 1999):

Tabela 17- Vantagens do trabalho experimental

Ref.	Vantagens
M1	- Promover o desenvolvimento intelectual e conceptual;
M2	- Levantar concepções alternativas do aluno e promover o conflito cognitivo com vista à sua mudança conceptual;
M3	- Explorar o alcance e limitações de alguns modelos e teorias;
M4	- Favorecer o desenvolvimento de atitudes como a auto-confiança, a curiosidade, a tolerância, a responsabilidade, a abertura e flexibilidade intelectual, a autonomia, a persistência e a disponibilidade para predizer, especular e inferir;
M5	- Desenvolver capacidades e técnicas científicas básicas, como sejam as capacidades de observação e medida, técnicas adequadas de manipulação do material e a aquisição de hábitos de tenacidade, honestidade e rigor;
M6	- Desenvolver competências investigativas (formular hipóteses, planificar experiências, fazer medições, analisar dados e fazer inferências), dotando os alunos de um conhecimento processual – "método científico" – que está na base da construção do conhecimento conceptual (teórico);
M7	- Permitir a compreensão de conceitos abstractos, a partir do desenvolvimento de situações concretas;
M8	- Proporcionar ao aluno a vivência de factos e fenómenos naturais;
M9	- Conhecer os métodos do pensamento científico;
M10	- Desenvolver a capacidade de resolução de problemas;
M11	- Desenvolver capacidades de comunicação oral e escrita;
M12	- Avaliar o conhecimento dos estudantes;
M13	- Valorizar e desenvolver a cooperação entre alunos, promovendo assim interacções sociais positivas;
M14	- Estimular o interesse, a motivação e o espírito crítico, nomeadamente pela formulação de hipóteses;
M15	- Promover nos alunos atitudes de segurança na execução de actividades de risco, transferíveis para a vida quotidiana;
M16	- Propiciar espaços de liberdade, necessários ao desenvolvimento pessoal e social dos alunos e à construção de vias pessoais de acesso ao conhecimento;

M17	- Favorecer a compreensão de alguns aspectos da natureza da ciência e a aquisição de atitudes positivas face à Ciência;
M18	- Ajudar a reconhecer o papel e a importância actuais da Ciência na civilização humana;
M19	- Desenvolver no aluno o gosto pela Ciência, em geral, e pela disciplina e/ou conteúdos em particular.

Tabela 18- Limitações do trabalho experimental

Ref.	Limitações
N1	- Para alguns alunos aumenta a confusão, em vez de tornar os conceitos mais compreensíveis;
N2	- Apesar de desenvolver as capacidades de manipulação dos instrumentos e as técnicas de medição, não está provado que as competências práticas adquiridas na aprendizagem das Ciências sejam generalizáveis a outros contextos;
N3	- Nem todos os alunos consideram o trabalho prático interessante ou motivador, sobretudo se desconhecem os objectivos que o mesmo pretende atingir;
N4	- A condução de investigações por parte dos alunos, para além de ocupar muito tempo, o que quase sempre é incompatível com a extensão dos programas, falha muitas vezes no seu objectivo de melhorar a aprendizagem das Ciências, pois sobrevaloriza as técnicas experimentais, à custa do desenvolvimento de capacidades críticas necessárias para interpretar os dados e avaliar a sua fiabilidade e validade;
N5	- As aulas com trabalho experimental são encaradas, pelos alunos, como fenómenos isolados, e não como parte integrante das actividades didácticas;
N6	- Divergência de objectivos entre os alunos e o professor;
N7	- Por vezes, apresentam pouca possibilidade para que os alunos interpretem aprofundadamente os dados recolhidos, limitando-se com muita frequência a seguir instruções com o intuito de alcançarem a "resposta correcta";
N8	- Em inúmeras situações os alunos manifestam dificuldades em identificarem o problema científico subjacente ao trabalho a desenvolver;
N9	- Pouca oportunidade para que os alunos desempenhem um papel activo na planificação da experiências;
N10	- A obrigação da realização de tarefas que o trabalho prático proporciona, nem sempre facilita a aprendizagem;
N11	- Realizar intensivamente actividades laboratoriais limita os conhecimentos dos alunos às conclusões e generalizações possíveis com o trabalho desenvolvido.

Apesar das inúmeras potencialidades para a aprendizagem associadas ao trabalho experimental, este tem em algumas circunstâncias um papel limitado no ensino-aprendizagem das Ciências.

Contudo acreditamos, tal como a maioria dos professores de Ciências, que o trabalho experimental é um possível meio para o desenvolvimento intelectual, tendo por isso um lugar importante na educação científica. Pensamos também que este não deve ser encarado, nos dias de hoje, como um caminho linear dos factos para as ideias, como uma sequência de procedimentos e regras fixas e determinadas, no pressuposto de que existe um método científico, único e universal. Deve ser antes encarado, como um processo mais complexo que envolve vários métodos e explicações onde a criação, a invenção, a incerteza, a autocrítica, a heterocrítica e o erro podem desempenhar um papel fundamental na compreensão do problema de partida e na definição e avaliação das estratégias possíveis para a sua resolução. Ou seja, como um processo sem uma metodologia específica, bem definida, mas com uma multiplicidade de métodos e processos a seleccionar atendendo aos objectivos a atingir, no processo de ensino- aprendizagem (ALMEIDA, 2001).

Em jeito de síntese podemos dizer que o trabalho experimental poderá desempenhar um papel fundamental na educação em Ciências (ALMEIDA, 2001):

- Quer como um fim em si mesmo ao desenvolver capacidades de resolução de problemas e de investigação;

- Quer como um estratégia de ensino e de aprendizagem favorecendo a construção de significado dos conceitos teóricos e a compreensão da natureza do trabalho científico – aspectos relacionados com a aprendizagem da Ciência e acerca da Ciência;

- Quer como uma estratégia formativa de desenvolvimento de capacidades e talentos diversos, de ordem cognitiva, afectiva e social.

5.1.5. A actividade experimental proposta para o estudo da "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera"

A actividade experimental proposta não se restringe, de modo algum, à experimentação e observação, mas envolve a especulação teórica, o debate e a confrontação de ideias, por todos os elementos envolvidos, pois todos são considerados como responsáveis pelo progresso e resultados da investigação. O esforço cooperativo de equipa que é requerido tem como objectivo promover a aprendizagem cooperativa, pois as investigações feitas têm demonstrado que as técnicas usadas no processo de ensino-aprendizagem baseados em grupos fazem melhorar o rendimento escolar dos alunos, ajudam o processo de socialização, desenvolvem o conceito de auto-estima e esbatem os processos de conveniência seja ela entre sexos ou diferentes etnias, sendo um meio excelente para estimular a socialização dos alunos (FREITAS [*et al.*], 1997).

Em termos concretos, neste trabalho, propomos três experiências simples, que podem ser desenvolvidas por estudantes de diferentes níveis de ensino, para investigar a protecção à radiação ultravioleta por diferentes sistemas, sendo estes:

- O material sintético de Perspex® – polimetacrilado de metilo (este material absorve a radiação ultravioleta, de tal forma que placas deste são usadas para simular a camada de ozono);
- Os protectores solares;
- Os tecidos de algodão de diferentes cores.

Como indicador do efeito da radiação ultravioleta, usamos a reacção de oxidação do iodeto a triiodeto ($I^- \rightarrow I_3^-$) induzida pela radiação ultravioleta, gerada por uma lâmpada vulgar de mercúrio. Esta lâmpada apresenta um máximo de emissão a 254 nm e é acompanhada por algumas outras riscas estreitas que estão distribuídas desde o ultravioleta até à região do verde (313, 365, 405, 436 e 546 nm). Consequentemente, esta lâmpada emite no perigoso intervalo de comprimento de onda do UV-B (280 a 315 nm) que é a radiação que tem atingido, como verificamos no capítulo 3.3.1, a superfície da Terra como consequência da diminuição de espessura da camada de ozono.

A mudança de cor da solução em estudo, de incolor para amarelo, quando irradiada é um processo simples de absorção, que permite assim a observação continuada desta actividade experimental.

No anexo 1 encontra-se um conjunto de fotografias com as três experiências realizadas para investigar a protecção da radiação ultravioleta pelos diferentes sistemas.

5.1.6. Propostas para a aplicação pedagógica das experiências desenvolvidas sobre a "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera"

Para apresentar esta actividade aos alunos desenvolvemos neste trabalho protocolos experimentais para dois níveis de escolaridade diferentes. Desenvolvemos e implementamos (cap. 6.2) protocolos experimentais para o ensino básico, 7º ano e apenas desenvolvemos, ficando para futuras oportunidades a sua implementação, os protocolos experimentais para o 10º ano. É de notar que os protocolos experimentais para o 10º ano diferem dos do 7º ano apenas na apresentação da execução experimental. Assim sendo, pretendíamos usar a mesma ideia para alunos de diferentes níveis de ensino.

Em qualquer um dos protocolos experimentais (anexo 2 e 3) segue-se a seguinte sequência: Questão introdutória, Objectivos, Introdução teórica, Material e Reagentes, Execução experimental e Conclusão. Explicitamos, de seguida, para cada uma destas fases a nossa intenção.

- Questão introdutória

Com a questão enunciada no início dos protocolos experimentais pretende-se levantar um problema com genuíno interesse para os alunos, eliminando também a limitação N8. Era nossa intenção, ao levantar este problema, estimular e desafiar os alunos para a investigação propriamente dita, pois pretende-se que a resposta seja alcançada pelos elementos envolvidos durante a investigação.

A exploração e interpretação destas questões permitem também a exploração das ideias prévias dos alunos (vantagem M2).

- Objectivos

Ao enunciarmos os objectivos da investigação pretende-se tornar clara a finalidade de investigação. Evitando assim as limitações N3 e N6. Estamos conscientes que uma secção prática com falta de clareza, quanto à finalidade, ou que tenta atingir vários objectivos ao mesmo tempo, não tem utilidade pedagógica (PEIXOTO, 1996).

- Introdução teórica

O objectivo essencial da introdução teórica é eliminar um problema normalmente associado à realização deste tipo de actividade: "a falta de contexto" da actividade experimental. Ou seja, com esta introdução teórica tentamos eliminar N8.

Na tabela seguinte explicita-se para os três protocolos experimentais a questão, os objectivos e a síntese da introdução teórica.

Tabela 19 – Questão, objectivos e síntese da introdução teórica dos três protocolos experimentais (PE)

PE	Questão	Objectivo	Introdução teórica
I	Será que a espessura da camada de ozono influencia a quantidade de radiação ultravioleta que atinge a Terra?	- Adquirir consciência dos perigos a que estamos sujeitos com a exposição à radiação ultravioleta; - Demonstrar a utilidade da camada de ozono, simulada com placas de Prespex®.	Refere a localização e constituição da camada de ozono.
II	Serão os protectores solares úteis para nos proteger da radiação ultravioleta emitida pelo Sol?	- Demonstrar a utilidade dos protectores solares; - Verificar a influência do índice de protecção solar (IPS) de um creme solar na protecção da radiação ultravioleta.	Alerta para a diminuição da espessura da camada de ozono que ocorre há vários anos e que por conseguinte é necessário usarmos uma protecção alternativa para evitarmos os efeitos indesejáveis da radiação ultravioleta.
III	Terá a cor dos tecidos influência na protecção da radiação ultravioleta emitida pelo Sol?	- Demonstrar a influência da cor dos tecidos como meio de protecção para a radiação ultravioleta emitida pelo Sol.	Alerta para a necessidade de utilizar guarda-sol e T-shirt em períodos de "exposição ao Sol", de uma cor adequada. Pretendia-se neste protocolo experimental levantar as concepções alternativas do aluno e promover o conflito cognitivo com vista à mudança conceptual, no que se refere à melhor protecção à radiação ultravioleta das cores escuras.

- **Material e reagentes**

- **Execução experimental**

Esta é apresentada aos alunos de 7º ano, os quais constituem a amostra deste estudo, por etapas. Pretendia-se essencialmente orientar o percurso destes alunos para os quais esta era a primeira experiência laboratorial, com este grau de complexidade/sofisticação.

Todavia, para os alunos mais velhos, a execução experimental não surge do mesmo modo. Pensamos que para estes seja mais adequado desenvolver uma actividade experimental de cariz mais investigativo. Assim sendo, para organizar a aprendizagem destes alunos pensamos que o professor deve assumir o papel de "director da investigação", acompanhando, participando e encorajando a discussão do projecto de investigação, mas dando "espaço" suficiente para que os alunos tracem por eles a planificação das experiências, a execução e a avaliação final.

Assim sendo, pretende-se promover as vantagens M4, M5, M6, M8, M13 e M14 e eliminar N9. Porém, ao permitir-se no caso dos alunos mais velhos, que sejam estes a conduzir a investigação propriamente dita, há que estar atento como "director da investigação" para que as limitações N1 e N4 não ganhem valor significativo.

- **Conclusão**

A conclusão compreende duas fases. Na primeira delas, pretende-se que os alunos completem uma frase de acordo com as observações efectuadas e na segunda fase que escrevam um pequeno texto que demonstre a relação entre a situação vivida na sala de aula e a realidade propriamente dita, dando assim resposta à questão inicial.

Ou seja, com a conclusão propriamente dita é possível alcançar-se M1, M3, M11, M12 e M15 e evitar N7.

Há ainda que salientar que durante a execução desta actividade experimental é de extrema importância que os alunos tenham tempo para pensar e falar sobre as possíveis explicações sobre o que observam, pois só assim é possível de forma cooperativa caminhar das concepções individuais sobre esta temática para as concepções cientificamente aceites.

Outra das estratégias que propomos envolve a utilização das novas tecnologias de informação e comunicação.

5.2. As novas tecnologias de informação e comunicação e o Ensino da Química

A sociedade contemporânea encontra-se indissoluvelmente ligada a movimentos de mudança que afectam a forma como trabalhamos, como ocupamos tempos livres, como nos relacionamos e como tomamos conhecimento do que acontece no mundo (PONTE, 1988).

O aspecto talvez mais dramático desta situação de mudança é que, ultimamente, parece ter sido acelerado de uma forma exponencial. Cada vez mais a mudança, ao fazer parte da vida, põe-nos perante o desafio de saber se seremos capazes de nos adaptar a viver numa sociedade em transformação permanente, a vários níveis nomeadamente: económico, político, científico, tecnológico e cultural.

Assim sendo, educar tem hoje, como principal objectivo, formar e preparar para o futuro, proporcionando aos jovens as ferramentas que lhes permitem, a eles próprios, construir o seu próprio amanhã a nível profissional, social e humano. Neste sentido, implica atender a factores que, durante muito tempo (e ainda hoje) foram pouco valorizados. As novas tecnologias de informação e comunicação (TIC), nomeadamente o computador, constituem um desses factores.

Assim sendo, outra das estratégias desenvolvidas e implementadas neste trabalho para dar a conhecer esta problemática promove o recurso ao computador para a exploração de um software educativo com componente multimédia significativa.

5.2.1. Utilização do computador no ensino

A crescente utilização do computador nos mais diversos ramos da actividade social constitui um dos aspectos mais marcantes das mudanças que ocorrem no mundo dos nossos dias (PONTE, 1988). De acordo com PAIVA (2002), o impacto do seu aparecimento para a humanidade é comparável ao da criação da agricultura e ao da revolução industrial.

O computador afirma-se actualmente como uma ferramenta de grande valor, imprescindível à organização e ao desenvolvimento de todas as sociedades desenvolvidas, sendo um instrumento de trabalho indispensável e quase omnipresente. O seu uso alterou mesmo, de modo significativo, a forma como os profissionais formulam e resolvem os problemas do dia a dia (PEREIRA e CORREIA, 1989).

Como os alunos de hoje serão os profissionais de amanhã, não podemos esquecer que na sociedade do futuro (ou até do presente) quem não for capaz de utilizar e compreender minimamente os processos informáticos correrá o risco de estar tão desinserido dessa sociedade como um analfabeto. É desta constatação que emerge a expressão já institucionalizada de "infoanalfabetismo".

Esta evolução impõe particulares responsabilidades à escola, que tem, imperiosamente, de adaptar-se às necessidades das sociedades em que está inserida. Se esta não souber readaptar-se para viver nas novas condições sociais, corre o risco de se tornar um obstáculo ao próprio progresso e perder, desse modo, a sua razão de existência, tornando-se insuficientemente atractiva e formativa para os alunos de hoje, com necessidades e interesses ajustados à época altamente tecnológica em que vivem.

Acreditamos que as novas tecnologias, nomeadamente o computador, constituem uma ferramenta de valor para o ensino, não devendo sequer a sua utilização ser posta em causa. Poderá estar em causa o seu bom ou mau uso, mas não a sua potencialidade intrínseca, sintetizada pelas quatro seguintes razões (SILVA, 1998):

- Razões sociais: os alunos devem ser preparados para agir numa sociedade cada vez mais movida pelas tecnologias;

- Razões vocacionais: os alunos devem ser capazes de dominar as tecnologias para que num futuro profissional sejam capazes de vencer numa sociedade tecnológica;

- Razões pedagógicas: possibilidade de melhoria dos processos de ensino-aprendizagem;

- Razões catalisadoras: a utilização do computador pode promover a mudança do processo de ensino-aprendizagem para que se valorize a cooperação mais do que a competição, a resolução de problemas e a reflexão mais do que a memorização.

A visão dos professores sobre a utilização das TIC

Sempre que uma inovação surge no horizonte dos educadores observamos uma dualidade de opiniões. Por um lado, há o *sonho do computador*, o sonho daqueles cujas expectativas são grandes no que respeita à contribuição do "mundo digital" para melhorar a educação, havendo mesmo um deslumbramento com as possibilidades propostas. A introdução do uso de computadores no ensino chega mesmo a ser enunciada por alguns como a "panaceia da Educação". Por outro, há um clássico cepticismo trazido pela decepção acumulada com políticas e propostas educacionais implementadas anteriormente, pela acomodação natural às diversas funções, pelo incómodo que as renovações requerem, ou até mesmo pela eventual possibilidade da destruição do processo de socialização fundamental ao ser humano (GATTI, 1988).

É ponto comum entre as pessoas que lidam com o computador na educação que todas as tecnologias, incluindo o computador, têm como objectivo disponibilizar a informação com rapidez, segurança e exactidão, mas tal como qualquer outro instrumento que pode ser usado

em situações de ensino-aprendizagem, a eficácia depende do uso que se faz dele, de como e com que finalidade está a ser usado. Por exemplo, utilizar um computador como um simples "quadro-negro" apenas para fornecer informações e recursos, não possibilita de modo algum a utilização do seu potencial, nem tão pouco gera a motivação esperada.

Há que ter consciência, também, que o computador só será admitido como um verdadeiro contributo no processo de ensino-aprendizagem se confluir para a resolução de problemas e satistizer necessidades quotidianas, se trabalhar a informação mais rapidamente e se servir de meio de desenvolvimento de capacidades cognitivas específicas dos seus utilizadores (DANTAS, 1999).

A nosso ver o computador deve ser encarado como mais uma ferramenta educacional, uma ferramenta com o objectivo de complementar, de aperfeiçoar e de promover o processo de ensino (YAMAMOTO e BARBETA, 2001). Deverá ser um instrumento de trabalho ao qual os alunos devem ter o acesso mais facilitado possível, não deixando de ser um elemento de liberdade, de poder e de criatividade (PONTE, 1988).

Este é também o ponto de vista de muitos outros educadores e investigadores a respeito da aprendizagem baseada nos computadores. Contudo, a perspectiva destes mudou muito nos últimos anos. Durante os anos 80, o computador era considerado como um agente de mudança, o que implicava que se esperava da tecnologia um impacto visível e directo na aprendizagem e na aquisição de habilidades por parte dos alunos. Porém, o seu efeito nas situações de ensino-aprendizagem, levou a uma mudança de perspectiva. O computador cada vez mais passou a ser encarado como uma ferramenta, e por conseguinte, os resultados dependem como temos vindo a notar, de como é usado (COSCARELLI, 1998).

Contribuições para a aprendizagem e para os professores do uso do computador

Explorar bem o imenso potencial desta nova tecnologia nas situações de ensino-aprendizagem pode trazer contribuições tanto para os estudantes como para os professores (CAMACHO, 2003; CARQUEJA, 2002; COSCARELLI, 1998; MONTEIRO, 2002; PAIVA, 2002). Organizamos esquematicamente (Tabela 20 e Tabela 21) tais contribuições, no sentido de facilitar a sua relação ulterior com a ferramenta que desenvolvemos e implementamos, sobre a camada de ozono (ver cap. 5.2.7).

Tabela 20- Possíveis contribuições para a aprendizagem

Ref.	Possíveis contribuições para a aprendizagem
H1	- Estimular os estudantes a desenvolver habilidades intelectuais, tais como: o raciocínio lógico, a concentração, a criatividade e a memória visual ou mesmo auditiva;
H2	- Diversificar a actividade cognitiva do aluno;
H3	- Desenvolver noções espaço-temporais;
H4	- Promover a rapidez de raciocínio e de tomada de decisões;
H5	- Desenvolver nos estudantes a curiosidade e o interesse em aprender;
H6	- Despoletar o espírito crítico, através de uma variedade de actividades, tais como: desenho, iniciação à escrita, programas gráficos e simulações;
H7	- Desenvolver o auto-conceito do aluno ao fazê-lo sentir-se em parte, autor do processo de construção do seu próprio conhecimento;
H8	- Estabelecer limites no comportamento;
H9	- Facilitar o relacionamento com os erros;
H10	- Estimular a pesquisa de mais informação sobre um assunto e de um maior número de relações entre as informações, pesquisa essa que poderá ser online;
H11	- Promover a cooperação entre estudantes;
H12	- Permitir por recurso a um *software* específico, uma interacção diferenciada entre o professor e os alunos;
H13	- Promover o desenvolvimento da coordenação motora obtida com domínio do "rato";
H14	- Promover a comunicação por *e-mail* para esclarecimento de dúvidas;
H15	- Facilitar o envio de ficheiros;
H16	- Promover a conversa com os encarregados de educação;
H17	- Para utilizadores deficientes, impossibilitados de utilizar as linguagens orais e gestuais, os meios de *input* mais tradicionais (teclado e rato), permitem-lhes estabelecer, com o computador, uma relação anteriormente impossível.

Tabela 21- Possíveis contribuições para a função do professor

Ref.	Possíveis contribuições para a função do professor
I1	- Facilitar a obtenção rápida de informação sobre recursos instrucionais;
I2	- Permitir maior interacção com os alunos comparativamente às aulas ditas "tradicionais";
I3	- Facilitar o reconhecimento que o conhecimento é cada vez mais um processo contínuo de pesquisa;
I4	- Promover a revisão dos caminhos de aprendizagem percorridos pelo aluno;
I5	- Facilitar a detecção pelos professores dos pontos fortes, das dificuldades específicas, das aprendizagens incorretas ou pouco assimiladas pelos alunos;
I6	- Ganho de tempo na execução de tarefas rotineiras (tais como preparar testes, elaborar fichas, realizar trabalhos de casa, fazer pesquisas, tratar dados, fotografia digital e imagem, trocar informação via *e-mail*, etc.);
I7	- Possibilidade de formação à distância, participação em trabalhos e experiências conjuntas à escala nacional e internacional, etc.

5.2.2. Software Educativo em Ciências

Atendendo a que o computador é mais um dos recursos à disposição do professor, que pode criar novas dimensões de trabalho na sala de aula, mas que só dará os seus frutos se for bem conduzida a sua utilização, desenvolvemos e implementamos sobre esta problemática uma aplicação com componente multimédia, na qual surgem também algumas simulações. Estes sistemas com componente multimédia têm um potencial fantástico em termos comunicacionais, pelo que tem vindo a ser (re)direccionado todo o processo de concepção e produção de software para utilização a nível educativo (LACERDA, 2003). O potencial educacional deste sistema deve-se sobretudo ao facto de integrar em simultâneo vários formatos de representação da informação, nomeadamente: texto, imagem e som.

Aplicação com componente multimédia

Como já referimos a ferramenta criada e implementada sobre a camada de ozono (cap. 5.2.7), apresenta uma componente multimédia significativa, apresentamos por isso, os sete elementos da chamada "matriz multimédia", que são respectivamente: a interface, a imagem, o texto e a tipografia, o áudio, o vídeo, a animação e a realidade virtual.

Ilustraremos cada um destes elementos com exemplos concretos, no domínio da educação em Ciências e, sempre que possível, usando módulos digitais relacionados com ferramentas já existentes e com a ferramenta criada e implementada sobre camada de ozono (Fig. 31 a Fig. 43).

Interface

Apesar do utilizador poder interactuar com o computador através de diversos dispositivos – teclado, rato, écran – é por intermédio da interface que essa interacção é mais efectiva (SHNEIDERMAN, 1992) o que justifica a particular atenção a toda a problemática da concepção e desenvolvimento de interfaces.

A interface é, muitas vezes, encarada como "a face que o sistema computacional apresenta ao mundo" de forma a permitir a interacção utilizador-computador pois é através desta que o utilizador interactua com a base de conhecimento (LACERDA, 2003), sendo exemplo os jogos da Fig. 31 e Fig. 32. Deste modo, no processo comunicacional a interface deve ser "encarada, não tanto ao nível técnico mas mais ao nível humano" (COUTAZ, 1990). Este é um dos aspectos mais subtis e exigentes.

Nessa perspectiva, é essencial um bom *design* para que a interface funcione como um elemento de motivação para o utilizador. Nunca é demais advertir que "o elemento motivacional das *interfaces* (...) é, de certo modo, o grau de aceitação psicológica do sistema, que é importante não negligenciar" (LACERDA, 2003).

Há, contudo, a ironia de que uma interface de sucesso desaparece da consciência do utilizador, tornando-se efectivamente invisível, o que algumas vezes constitui a tragédia do designer de interface – o mais sucedido designer é o menos noticiado.



Fig. 31- Exemplo de uma interface usada num jogo sobre a camada de ozono (FELDMAN, 2003)



Fig. 32- Exemplo da interface usado no jogo "Nós e o Ozono" (criada no âmbito desta tese)

Imagem

A imagem gráfica (estática, dinâmica, animada, vídeo) é, sem dúvida, um dos formatos de representação da informação privilegiados para estabelecer o diálogo entre o aluno e a informação, até porque vivemos numa época em que a imagem impera.

As imagens podem excitar paixões, expressar sentimentos, comunicar ideias, explicar complexas relações, tornar-se objectos de prazer estético, meditação e contemplação ou contar histórias, ao serem usadas numa multiplicidade de formas para: seduzir, informar, apelar,

comunicar e enriquecer um assunto particular ou tema (COTTON e OLIVER, 1999), como se verifica na Fig. 33 e Fig. 34.



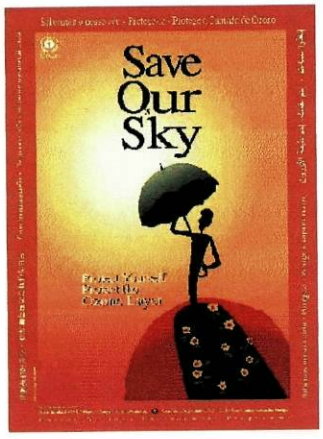
What's Going On Up There?



You have probably heard people talk about a "hole" in our ozone layer. Damage to our Earth's giant protective umbrella is more severe in the South Pole, but, even there, no actual "hole" exists. And only a slight thinning occurs over the rest of the world. So no matter where you stand, you won't find a true "hole".

About 20 kilometres thick, this giant umbrella is made up of a layer of ozone gas. This gas is found some 15 to 35 kilometres above the Earth's surface in the upper atmosphere or "stratosphere".

16 de Setembro: Dia Internacional para Protecção da Camada de Ozono



Poster (250k)

A Assembleia Geral das Nações Unidas, de acordo com a sua Resolução 49/114 de 19 de Dezembro de 1994, designou o dia 16 de Setembro de cada ano Dia Internacional para a Protecção da Camada de Ozono, como comemoração do dia da assinatura do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Prejudicam a Camada de Ozono (1987).

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) em cumprimento da liderança desde sempre assumida nas questões científicas relacionadas com o ozono atmosférico, através dos seus programas visando o conhecimento das causas e efeitos da diminuição do ozono estratosférico, bem como da preparação de documentação científica periódica que tem sido a base de importantes decisões da comunidade internacional na sequência da Convenção de Viena para a Protecção da Camada de Ozono (1985), do Protocolo de Montreal e das suas Emendas e Aditamentos (Londres, 1990 e Copenhague, 1992), os quais tiveram um papel fundamental no decréscimo da produção e consumo das substâncias nocivas para a camada de ozono, relembra a importância da ocasião.

Mais informações sobre o enquadramento nacional e internacional, legislação, etc., pode ser consultado no site do Instituto do Ambiente.

Fig. 33- Exemplos de que, muitas vezes, "uma imagem vale mais do que mil palavras" (ENVIRONMENT, 2003; INSTITUTO, 2003)

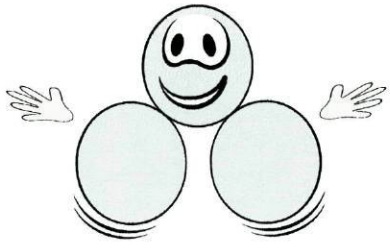


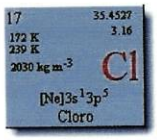
Fig. 34- Mascote usada para representar a molécula de ozono no software educativo criado no âmbito desta tese

Texto e Tipografia

O texto é, sem dúvida alguma, um grande veículo de comunicação de ideias, informações e emoções por inúmeras razões, de entre as quais as técnicas, relacionadas com o facto deste elemento da matriz multimédia ser extremamente compacto. Contudo, com o desenvolvimento dos media, o balanço entre os diferentes elementos tem-se alterado – as imagens, o som, a animação e o vídeo têm adquirido uma predominância maior. No entanto, o texto permanece ainda como um elemento muito importante na matriz dos media (Fig. 35).

Raras são as referências que encontramos na literatura quanto à selecção das tipologias mais adequadas para a apresentação do texto em documentos multimédia. Porém, quando existem (KAHN [*et al.*], 1990; MARTIN, 1990) remetem-nos para o estudo das tipologias a ter em consideração no *design* do texto para apresentar no papel e no écran do computador.

Ao reconhecermos que a boa apresentação de um texto pode contribuir para motivar o utilizador e captar a sua atenção tivemos especial atenção ao criar o hipertexto no nosso software (Fig. 36). A escolha adequada do tipo, tamanho e estilo dos caracteres, bem como do tipo de espaçamento e alinhamento do texto, etc., são aspectos que acreditamos contribuírem decisivamente para uma boa ergonomia do produto final (BEAUFILS, 1991) pelo que foram estudados e seleccionados com todo o cuidado.



O gás cloro foi pela primeira vez preparado por Scheele em 1774, ao aquecer ácido clorídrico com dióxido de manganésio. Era libertado um gás amarelo esverdeado que Scheele pensou ser um composto. Lavoisier baptizou a nova substância de ácido oximuriático pois pensava que ele era formado pela adição de oxigénio ao ácido clorídrico de uma maneira análoga à conversão do ácido sulfuroso em ácido sulfúrico por oxidação (note-se que Lavoisier acreditava que todos os ácidos continham oxigénio). Esta interpretação errónea foi consolidada pela investigação de Berthollet que, em 1785, verificou que, quando uma solução aquosa de cloro era colocada à luz do sol, libertava oxigénio.

Os químicos Gay-Lussac e Thénard, em 1809, passaram o gás puro e seco por carbono ao rubro mas não o conseguiram separar em componentes. Davy, em 1810, tentou novamente decompor o gás, tendo as suas tentativas falhado e provando, assim, que o ácido oximuriático de Lavoisier era uma substância elementar. Chamou-lhe cloro, do grego "Khloros", que significa amarelo esverdeado.

- Ocorrência
- Aplicações
- Acção Biológica
- Propriedades
  - Elemento
  - Atómicas
  - Isótopos
  - Espectro
  - Substâncias Elementares
  - Substâncias Compostas



Fig. 35- Propriedades do cloro (SOFT CIÊNCIAS, 2003)

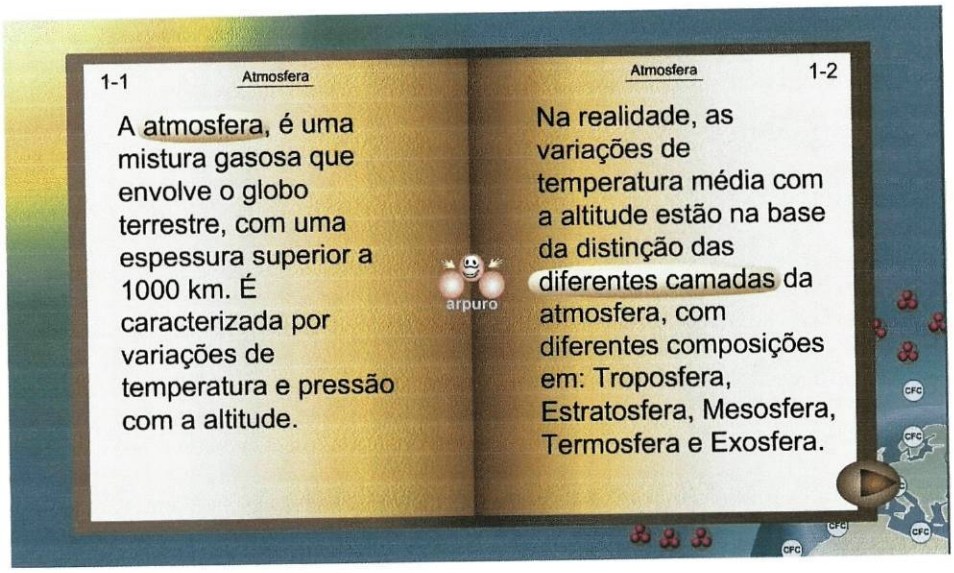


Fig. 36- Imagem do hipertexto do software educativo criado no âmbito desta tese

Áudio

O som é um elemento da matriz multimédia de uso recente, essencialmente por razões técnicas. Este, para além de poder ter uma função importante ao nível da motivação, pode também, imprimir um maior realismo à situação de aprendizagem (BARKER, 1989).

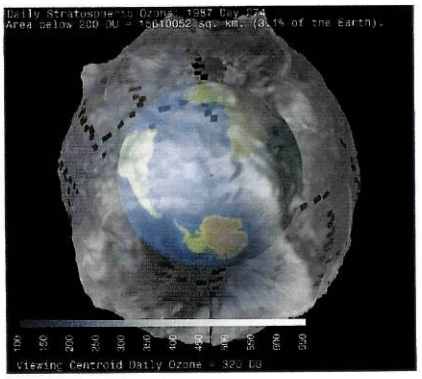
A principal característica do som (que o distingue dos outros elementos, nomeadamente do texto e das imagens) é que este é temporal (Fig. 37).

Existem ainda três aspectos relacionados com o som que necessitam de ser considerados, muito cuidadosamente, no que diz respeito ao multimédia, nomeadamente (COTTON e OLIVER, 1999):

- o som parece relacionar as nossas emoções e imaginação de forma poderosa (É exemplo no protótipo multimédia criado por nós o som que surge na ida à praia (Fig. 38));

- a nossa audição é um sentido de relação muito forte, sendo difícil ouvir muitos sons sem apelar a outros sentidos, particularmente à visão;

- embora o som seja uma experiência temporal, tal como um vídeo ou animação, este também pode funcionar como um evento pontual (É exemplo o que acontece no protótipo multimédia quando o participante faz as escolha no jogo "Prevenir" (Fig. 39)) .



You can also view an animation similar to this representation or a simplified VRML representation of this image. In addition, you can view a video (3:17 in length) that discusses this work. A second video (4:47 in length) discusses an application with ozone and atmospheric dynamics data. Both videos are MPEG-1 encoded at 800Kbps, and include my voice-over narration of the animations that describe the data, the visualization techniques and the results.

Fig. 37- A digitalização do som cria para os utilizadores uma maior sensação de envolvimento com outros elementos dos media (TREINISH, 2003)

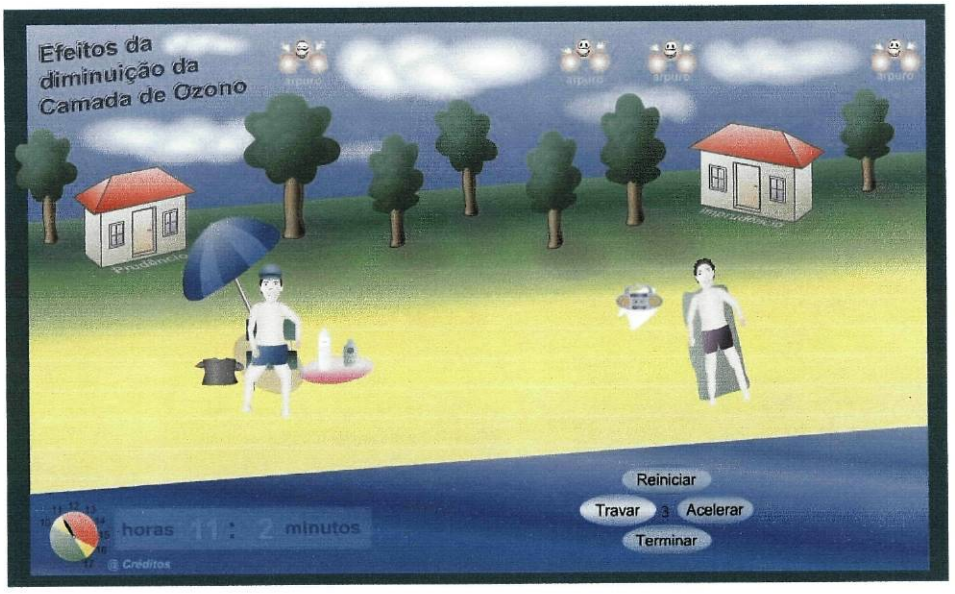


Fig. 38- Imagem estática do desenho animada usado no nosso software

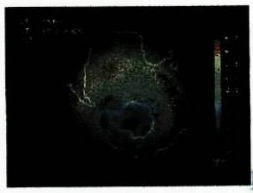


Fig. 39- Imagem estática do jogo "Prevenir". Parte do software onde surge som, conforme as escolhas

Vídeo

O vídeo é a forma mais rica de se apresentar um conteúdo (Fig. 40). No entanto, este é ainda um elemento novo do multimédia carecendo por isso de alguns aperfeiçoamentos ao nível do transporte, armazenamento, compressão e técnicas de *display*, pois de todos os elementos multimédia, este é o que requer melhor performance e memória do computador.

O vídeo digital é uma poderosa ferramenta de aproximação dos utilizadores do computador ao mundo real. Contudo, convém referir que da mesma forma e com a mesma facilidade que o uso do vídeo pode abrilhantar uma apresentação, pode também destrui-la, se não for adequado ou bem produzido.



MPEG File (1.2 Mbyte)

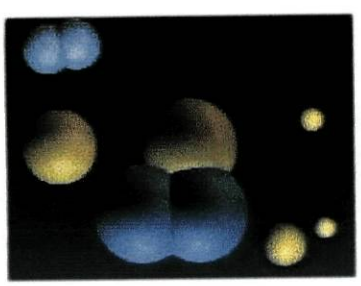
The animation shows the simulated changes in the ozone concentration in the stratosphere at an altitude of about 25 km during a three month period. Low ozone concentrations are displayed in blue.
It can clearly be seen that the so called **ozone hole** is variable within space and time. This computer simulation of this phenomenon concurs well with data from satellite measurements.

Fig. 40- Fusão da televisão com a Internet. O vídeo mostra uma alteração simulada da concentração de ozono na estratosfera a uma altitude de 25 km durante um período de três meses (BÖTTINGER e BIERCAMP, 2003)

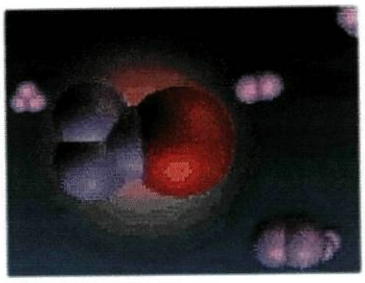
Animação

A animação, além de adicionar impacto visual ao multimédia é o elemento que pode mais facilmente expressar a sua natureza dinâmica (Fig. 41 e Fig. 42).

Esta é possível pelo fenómeno biológico conhecido como persistência da visão. Um objecto visto pelo olho humano permanece retido na retina por algum tempo depois de ser visto. Isto torna possível a ilusão visual de movimento através de uma série de imagens que se movem com maior ou menor velocidade uma atrás da outra.



Click to watch the movie.



Click to watch the movie.

Fig. 41- Animação do mecanismo de formação e de destruição do ozono (FACES, 2003)

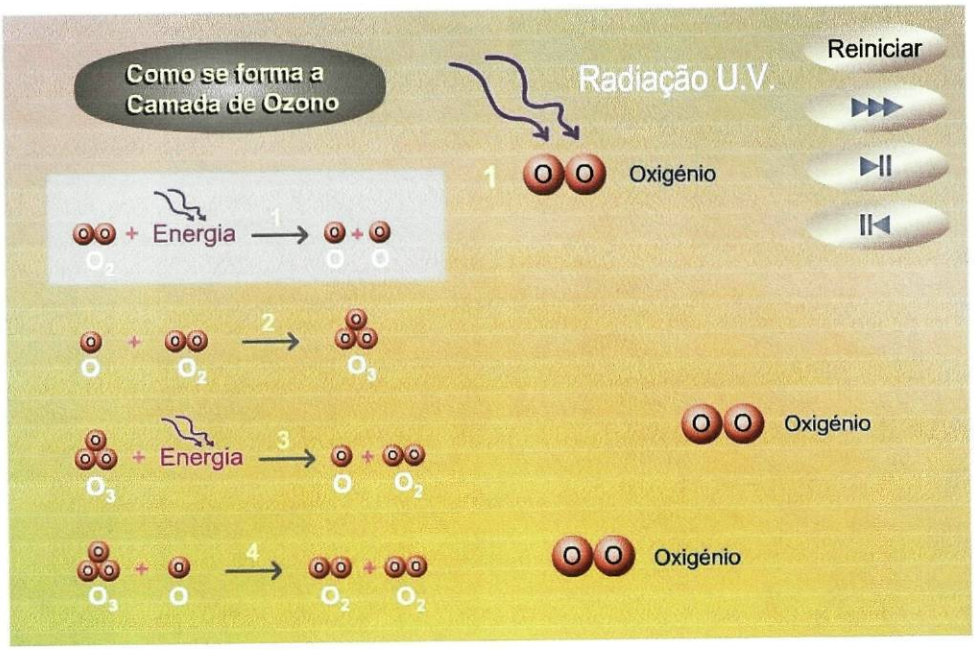


Fig. 42- Imagem estática do Mecanismo de Chapman que existe no software educativo criado no âmbito desta tese

Realidade Virtual

Um dos mais intrigantes aspectos da nossa experiência com o uso dos computadores tem sido a criação de um tipo de espaço de informação a três dimensões.

Este elemento possui três características essenciais, que o tornam diferente de qualquer outro elemento referido, nomeadamente (CAMACHO, 2003):

- **Imersão** – É a característica essencial que deverá estar sempre presente num mundo virtual para que possa ser considerado como tal. Esta permite ao utilizador sentir-se verdadeiramente parte do "mundo em que se encontra". Para tal, é necessário que os sentidos

do utilizador, nomeadamente os da visão, audição e tacto, enviem para o seu cérebro as sensações necessárias que lhe permitam ver, ouvir e tocar.

- **Interactividade** – Esta é outra das características da realidade virtual, pois por meio de diversos mecanismos, o participante pode interagir obtendo respostas que desencadeiam novas acções.

- **Manipulação** – Imerso no mundo virtual, o participante tem, ainda, a capacidade para agir sobre os objectos, de os manipular podendo, assim, alterar elementos importantes.

A realidade virtual apresenta particular interesse pedagógico, pela simplicidade de recursos que necessita, por exemplo para visualizar a imagem estereoscópica do ozono (Fig. 43) é suficiente um par de óculos azul/vermelho. Com esta técnica consegue-se obter percepção tridimensional de objectos 2D (PAIVA, 2002). (ver em www.spq.pt)

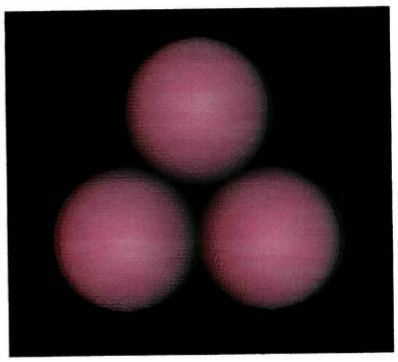


Fig. 43- Imagem estereoscópica do ozono (MOLECULARIUM, 2003)

5.2.3. O caso particular das simulações

Incluído neste software que desenvolvemos sobre a camada de ozono, encontram-se algumas simulações, ainda que simples, desta problemática ambiental e social.

As simulações são formatos em que o uso do computador se tem revelado uma ferramenta pedagógica de valor acrescentado, ao reproduzir o comportamento de um dado sistema, a partir do modelo teórico que o descreve. Uma simulação potencia mesmo a ligação entre o aprender Ciência e o desenvolvimento da capacidade de assimilação dos modelos que lhe estão subjacentes (CARDOSO, 1998).

As simulações nos últimos anos têm registado um desenvolvimento assinalável e uma aplicação crescente em termos de ensino-aprendizagem. Consistem basicamente em programas ou ambientes gerados em computador, onde o objectivo é que o aluno/participante compreenda o modelo, que interaja, que interiorize e consubstancie aprendizagens (PAIVA, 2002).

A vantagem deste tipo de software, seguindo a perspectiva construtivista, reside efectivamente, na possibilidade do aluno participar de uma forma activa, além de lúdica, no processo de aprendizagem. Aqui, a interactividade e a manipulação desempenham um papel educativo importante, permitindo o "aprender fazendo".

Oferece-se aos alunos a oportunidade de serem agentes da sua própria aprendizagem, de tomarem uma decisão e assumi-la, de analisarem dados e modificarem conclusões, seguindo os passos do método científico, sem entretanto estarem presos a uma receita hierarquizada de acontecimentos predeterminados pelo professor, como acontece frequentemente quando usamos estratégias mais teóricas (EIVAZIAN, 1995).

Isto, aliado ao interesse dos estudantes pelo computador, pode a princípio tornar mais eficiente e agradável a descoberta do conhecimento. Contudo, acreditamos que a simulação não deverá ser o substituto de experiências reais na sala de aula, mesmo quando existam condições físicas que justifiquem o recurso ao computador. A utilização de simulações justifica-se apenas em certos casos (PEREIRA e CORREIA, 1989; COX, 1992):

- Quando as experiências são muito dispendiosas ou perigosas;
- Quando os fenómenos ocorrem rapidamente ou vagarosamente;
- Quando as dimensões dos fenómenos são muito grandes ou muito pequenas;
- Quando são difíceis ou impossíveis de visualizar sem o recurso ao computador.

5.2.4. Vantagens e limitações do multimédia e das simulações computacionais no ensino

De acordo, com vários autores, do ponto de vista pedagógico, o multimédia e as simulações apresentam inúmeras vantagens, mas também algumas limitações que serão enumeradas nas tabelas seguintes (BROWN, 1999; CAMACHO, 2003; CARDOSO, 1998; CHAVES, 2003; COSCARELLI, 1998; EIVAZIAN, 1995; MARTINS [*et al.*], 2003; MEDEIROS e MEDEIROS, 2002; MIRO-JULIA, 2001; YAGER, 1991; YAMAMOTO e BARBETA, 2001; PEREIRA e CORREIA, 1989; RUSSELL [*et al.*], 1997; SALGUEIRO, 2003):

Tabela 22- Vantagens do uso do multimédia e das simulações computacionais

Ref.	Vantagens
J1	- Permitir a compreensão adequada de muitos dos fenómenos que implicam necessariamente a *visualização mental*, quer sejam eles à escala macroscópica ou microscópica, fazendo mesmo a ligação entre estes dois "mundos";
J2	- Promover a apresentação e representação, através de vários elementos, de ideias abstractas e conceitos de difícil representação, proporcionando uma maior relação entre o ambiente de aprendizagem e o mundo real;
J3	- Auxiliar os estudantes a aprender sobre o mundo natural, vendo e interagindo com os modelos científicos subjacentes que não poderiam ser inferidos através da observação directa;
J4	- Apresentar uma versão simplificada da realidade pela destilação de conceitos abstractos nos seus elementos mais importantes;
J5	- Promover a criação e o teste de hipóteses;
J6	- Reduzir a ambiguidade, facilitando a identificação da relação das causas e efeitos em sistemas complexos;
J7	- Promover a mudança conceptual e a solidificação dos conhecimentos;
J8	- Reduzir o "ruído cognitivo" de modo que os estudantes possam concentrarem-se nos conceitos envolvidos nas experiências;
J9	- Promover a interactividade e a sensação de envolvimento, permitindo ao utilizador uma participação activa e a possibilidade de selecção do que pretende estudar;
J10	- Permitir aos estudantes relacionar rapidamente uma grande quantidade de dados;
J11	- Fornecer um feedback, quase imediato, com o intuito de aperfeiçoar a compreensão dos conceitos;
J12	- Facultar a reprodução dos fenómenos a maior ou menor velocidade;
J13	- Servir como preparação inicial na compreensão do papel do laboratório, reduzindo em alguns casos os custos das experiências laboratoriais, acrescendo ainda a possibilidade de um laboratório sempre limpo;
J14	- Estimular a participação sem receio de errar (tantas vezes os alunos se inibem, nas aulas, de participar com receio de errar), favorecendo assim o desenvolvimento da auto-confiança. Estas ferramentas permitem um sem número de repetições do mesmo fenómeno;

J15	- Desenvolver habilidades de: comunicação, resolução de problemas, raciocínio crítico, conhecimento e tomada decisões;
J16	- Facilidade de serem usadas na fase de aprendizagem e na fase de avaliação, facilitando ao professor avaliar o percurso e o desempenho do aluno;
J17	- Possibilidade de serem usadas com alunos que possuem diferentes conhecimentos, experiências e capacidades, pois apresentam relativa facilidade em adequar a informação veiculada ao nível etário da população-alvo (podem ser usadas desde o ensino pré-escolar ao ensino superior);
J18	- Facilidade de adaptação às diversas disciplinas (tornam possível o ensino multidisciplinar);
J19	- Promover uma visão mais alargada da Ciência;
J20	- Incrementar o entusiasmo, a motivação e o gosto pela escola em geral e pela Ciência em particular.

Tabela 23- Limitações do uso do multimédia e das simulações computacionais

Ref.	Limitações
K1	- Alguns conhecimentos e habilidades importantes são inadvertidamente perdidos, pois o que descreve o multimédia e as simulações é sempre baseado em modelos que contem necessariamente, simplificações e aproximações da realidade;
K2	- Podem levar o aprendiz a formar uma visão distorcida a respeito do mundo (pensar que o mundo real pode ser simplificado e controlado);
K3	- É possível que o excesso de estímulos possa desviar a atenção do sujeito para aspectos de importância secundária;
K4	- É difícil controlar o uso do multimédia e das simulações pelos estudantes, de forma a atingir as metas educacionais;
K5	- Pode ser, se não visto, pelo menos usado como alternativa (perversa) ao trabalho de laboratório.

5.2.5. Recursos digitais sobre a Camada de Ozono

Após pesquisa na Internet encontramos alguns sites nos quais surgem algumas ferramentas multimédia sobre a camada de ozono. Todos estes sites encontram-se, no motor de busca do portal de ciência MOCHO (www.mocho.pt) e sintetizados aqui na Tabela 24.

Tabela 24- Ferramentas multimédia sobre a camada de ozono

Área	Título	URL	Descrição
Ciências/química/ozono	O que se passa?	http://www.despodata.pt/geota/Inform/oqspassa.htm	Nesta página podemos encontrar respostas simples e curtas a várias questões ambientais, nomeadamente sobre: o efeito de estufa, a camada de ozono, as chuvas ácidas, …
	A camada de ozono em Portugal	http://www.meteo.pt/uv/DiaDoOzono/o3_por.htm	Página dedicada à Camada de Ozono em Portugal. Aqui podemos por exemplo conhecer a situação em Portugal nos últimos 365 dias.
	A camada de ozono	http://www.iambiente.pt/rea99/docs/23ozono.pdf	Excerto referente à Camada de Ozono do Relatório do Estado do Ambiente 1999
	A camada de ozono	http://students.fct.unl.pt/users/fmr11280/ozono/	Página da responsabilidade da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, com um trabalho no âmbito da cadeira "Introdução aos Problemas do Ambiente" onde é dado especial relevo à camada de ozono. Aqui pretende-se clarificar o seu significado e a sua importância para o planeta Terra, bem como os resultados que a sua deterioração poderá causar.
	Ecologia	http://www.terravista.pt/copacabana/3018/	Página sobre ecologia que contém informação sobre vários assuntos, tais como: a Camada de Ozono, o Efeito de Estufa, …
	Impactos ambientais	http://www.terravista.pt/enseada/1285/	Projecto escolar que se debate sobre questões como as Chuvas Ácidas e o Buraco na Camada de Ozono. Faz parte de um trabalho realizado com os alunos da Escola de Aplicação - FEUSP em 1997.
	Ozono	http://gasa.dcea.fct.unl.pt/ht/	Página onde podemos encontrar informação sobre Ozono Troposférico
	Ozono... "escudo protector"	http://www.ese.ips.pt/abolina/webquests/ozono/ozono.html	Nesta página podemos encontrar ajuda para a elaboração de um projecto de informação/sensibilização da população escolar para o problema da destruição da camada de ozono
	Ecosfera	http://ecosfera.publico.pt/noticias/noticia245.asp	Sabias que… Buraco de ozono apresenta o mesmo tamanho já há três anos!
	Grandes temas - Camada ozono	http://ambiente.busca.net/ozono.htm	Página do AMBIENTE, onde podemos clarificar a importância da Camada de Ozono e aprender a protegê-la
	Cronologia Climática	http://dossiers.publico.pt/quioto/html/cronologia_climatica.htm	Cronologia Climática
	Links Úteis	http://www.abae.pt/links.php	Conhece alguns links úteis ligados ao ambiente

	Naturlink	http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=2218&iLingua=1	São diversas as substâncias químicas que reagem com o ozono, destruindo-o. A lista negra dos produtos danosos inclui óxidos nítricos e nitrosos expelidos pelos escapes dos veículos e o dióxido e monóxido de carbono libertados pela combustão do carvão e do petróleo. Mas em termos de efeitos destrutivos sobre a camada de ozono, nada se compara ao grupo de gases designados por clorofluorcarbonetos, os conhecidos CFCs. Nesta página podemos obter mais informação sobre os CFCs
Ciências/química/ozono/simulações	Atmospheric Chemistry Outline	http://jcbmac.chem.brown.edu/myl/ct7/ozone/ac_outline.html	A camada de ozono é um tema de especial importância para actualidade, com esta página podemos clarificar com a ajuda de alguns vídeos a formação e destruição do ozono
	Ozone hole opens again	http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/454514.stm	Nesta página podemos encontrar uma animação da Nasa sobre o desenvolvimento do buraco do ozono sobre a Antártida
	Dave's Gallery	http://evlweb.eecs.uic.edu/pape/Gallery/PreLit.html	Página dedicada a animações e imagens de vários fenómenos no planeta Terra, nomeadamente: o Ozono, o ElNino,...
	Stratospheric Ozone and Climate Modeling	http://www.dkrz.de/dkrz/visu/projects/ozone.html	A animação mostra uma alteração simulada da concentração de ozono na estratosfera a uma altitude de 25km durante um período de três meses
	HWR/GEOS 107b -- Spring 1997 -- Week 12, Class 1	http://www.hwr.arizona.edu/~Alpine/h107b/lectures/class13_1.html	Página com vários vídeos de fenómenos que ocorrem no 3º planeta a contar do Sol...
	Lloyd Treinish's home page	http://www.research.ibm.com/people/l/lloydt/#atwt	Página com vários vídeos e animações entre os quais podemos encontrar alguns referentes ao tema : O Buraco na Camada de Ozono
	Three-Dimensional Modeling Studies of Atmospheric Chemistry and Transport Processes	http://rossby.larc.nasa.gov/	Sabes como varia a quantidade de ozono durante um ano? Com o vídeo que podemos encontrar nesta página saberemos a resposta.
	Ozone UK Europe ang Global	http://www.weather-info.co.uk/ozone.html	Página com inúmeras imagens de um problema global: O buraco na Camada de Ozono
	The Ozone Hole Tour	http://www.atm.ch.cam.ac.uk/tour/index.html	Página dedicada ao Buraco na Camada de Ozono. Aqui podemos encontrar resposta a muitas das nossas perguntas.
	Stratospheric Ozone	http://www.ec.gc.ca/ozone/en/index.cfm	Aqui podemos aprender algo mais sobre o buraco do ozono...brincando. Nesta página podemos encontrar além de informação alguns jogos.
	Surfing the Net with kids	http://www.surfnetkids.com/games/sunscreen-ws.htm	Aprender...Brincando!

5.2.6. Proposta para aplicação pedagógica do protótipo desenvolvido sobre a "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera"

O computador apresenta um papel importante ao nível da aprendizagem (citadas de H1 a H17), devido às suas enormes potencialidades, de entre as quais se destacam aquelas que são notórias na aplicação que desenvolvemos:

- Potenciador, através da imagem e de animação, nomeadamente da motivação dos alunos;

- Elemento promotor de propostas pedagógicas mais ousadas e construtivistas;

- Máquina auxiliar de projecção de textos/imagens que podem ser objecto de animação, ao serviço das apresentações e da própria organização da aula do professor;

- Meio de manipulação, mais ou menos ampla, de simulações baseadas em modelos previamente programados.

Ao criarmos integralmente este protótipo tivemos em especial atenção a necessidade de evitar K1, promovendo um equilíbrio entre o realismo e a simplicidade, além de uma capacidade de adaptação conforme as necessidades dos alunos (vantagem J17). Pretendíamos aplicar este protótipo ao nível do 7º ano, porém ao construi-lo optámos por colocar mais informação do que aquela que seria "necessária"/"ajustada" para alunos deste nível de escolaridade, promovendo assim em relação a vários níveis de escolaridade as vantagens mais abrangentes, referenciadas como J2, J3, J4, J7 e J8.

Assim sendo, apesar de no âmbito desta tese este protótipo multimédia ter sido apenas aplicado a uma turma de 7º ano, acreditamos que em futuras oportunidades também seja aplicável a alunos de níveis de escolaridade mais avançados.

A existência no seu percurso de alguns jogos deve-se também à nossa convicção de que são um contexto extraordinariamente envolvente, ajudando a criar uma íntima familiaridade com a máquina, facilitando deste modo a aprendizagem, pois com qualquer um dos jogos existentes é possível promover J9 e J11.

Em termos genéricos acreditamos que com esta ferramenta interactiva, que permite ao aluno avançar pelo seu próprio ritmo, proporcionar para além da visualização, uma interacção aluno/assunto, que a nosso ver é muito eficaz, quer em termos de aprendizagem, quer como preparação para a tão desejada autonomia, ao longo da vida e do processo de aquisição de conhecimentos, o que em termos gerais pode conduzir à vantagem J20.

Contudo, não pretendemos de modo algum criar a visão do computador como substituto do professor. Pensamos mesmo que o professor continuará sempre a estar presente, mas com novos papéis, nomeadamente como elemento organizador e coordenador das

diversas actividades. Ou seja, a nosso ver o seu papel adquire novas dimensões e responsabilidade. De facto não faz de modo algum sentido opor o computador ao professor, pois cada vez mais se pretende que seja a combinação dos dois, no máximo das suas potencialidades, a equipa pedagógica do futuro (PONTE, 1988).

O software educativo criado no âmbito desta tese (que se encontra em http://nautilus.fis.uc.pt/cec/ozono e em CD no anexo 11) inicia-se com as Fig. 44 e Fig. 45. A partir destas duas imagens acreditamos promover alguns conflitos cognitivos que podem conduzir à eliminação de CA´s como aquelas referenciadas por A1, A5 e A6.

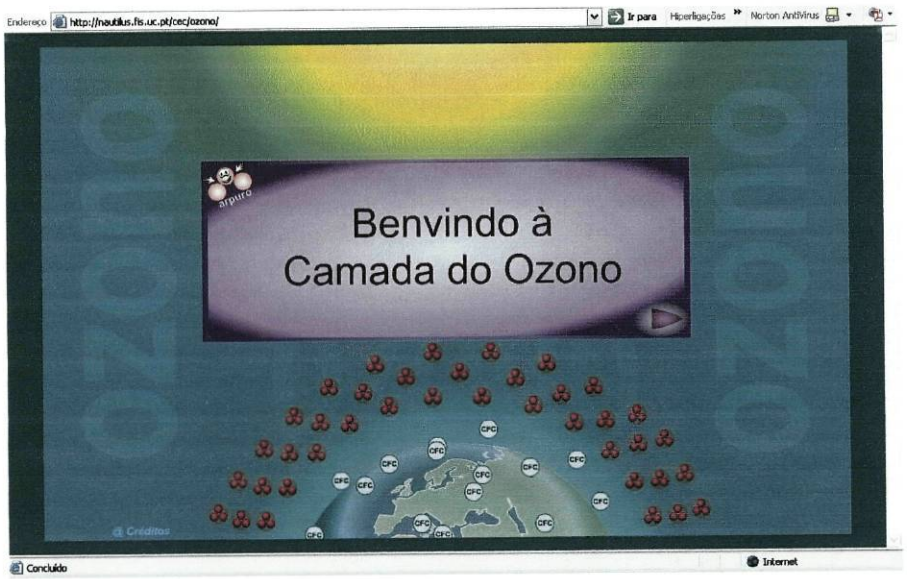


Fig. 44- Imagem inicial do software educativo criado no âmbito desta tese

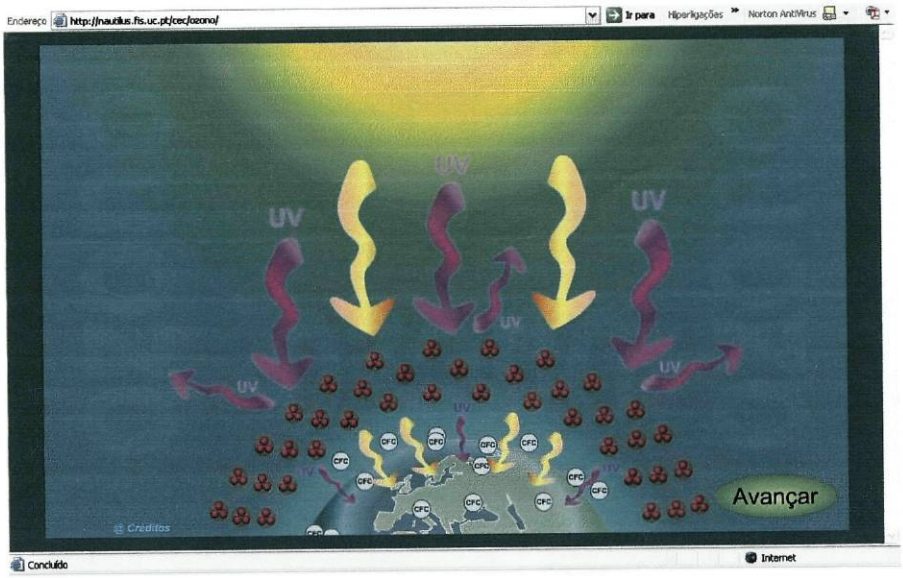


Fig. 45- Imagem do software educativo criado no âmbito desta tese

Em termos de organização segue-se um hipertexto no qual é apresentada a estrutura da atmosfera (Fig. 46), sendo a partir daí abordada a localização, importância (Fig. 47) e formação da camada de ozono (Fig. 48).

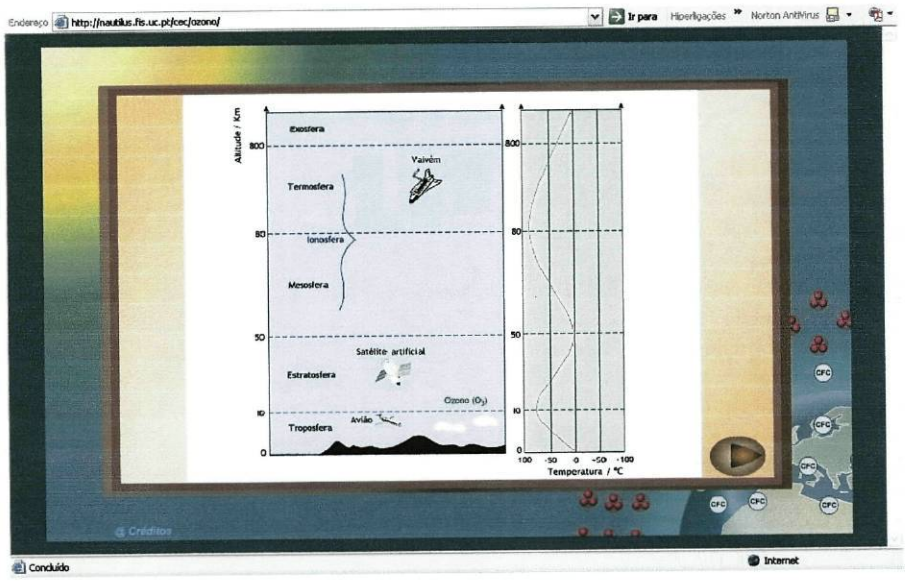


Fig. 46- Imagem da estrutura da atmosfera

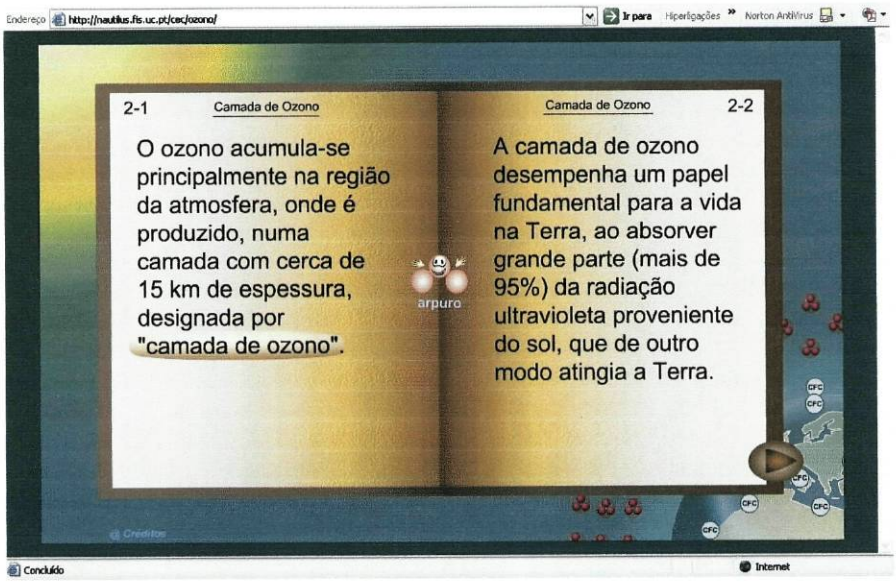


Fig. 47- Hipertexto onde se refere a localização e importância da camada de ozono

No caso particular do mecanismo de formação da camada de ozono (referido no cap. 3.3.2) é claramente evidenciada J1. Porém, há que referir que o mecanismo apresentado aqui não possui o nível de complexidade do apresentado na contextualização científica, atendendo a que o público são essencialmente alunos do ensino básico. Todavia pensamos que a forma como está apresentado poderá servir também para a introdução ao estudo desta temática com alunos mais velhos.

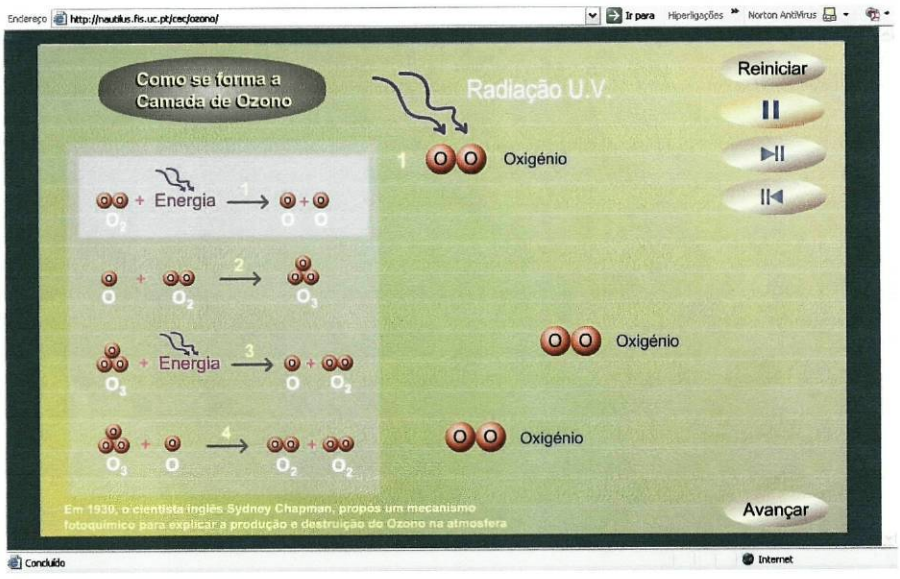


Fig. 48- Mecanismo de formação da Camada de Ozono apresentado no software desenvolvido

Segue-se o jogo "Nós e o Ozono" em que os elementos participantes são apresentados a um problema através de uma questão: "És um amigo da camada de ozono?" e após tomarem

uma série de decisões, executando acções, recebem a informação sobre a consequência dessas mesmas acções (Fig. 49).

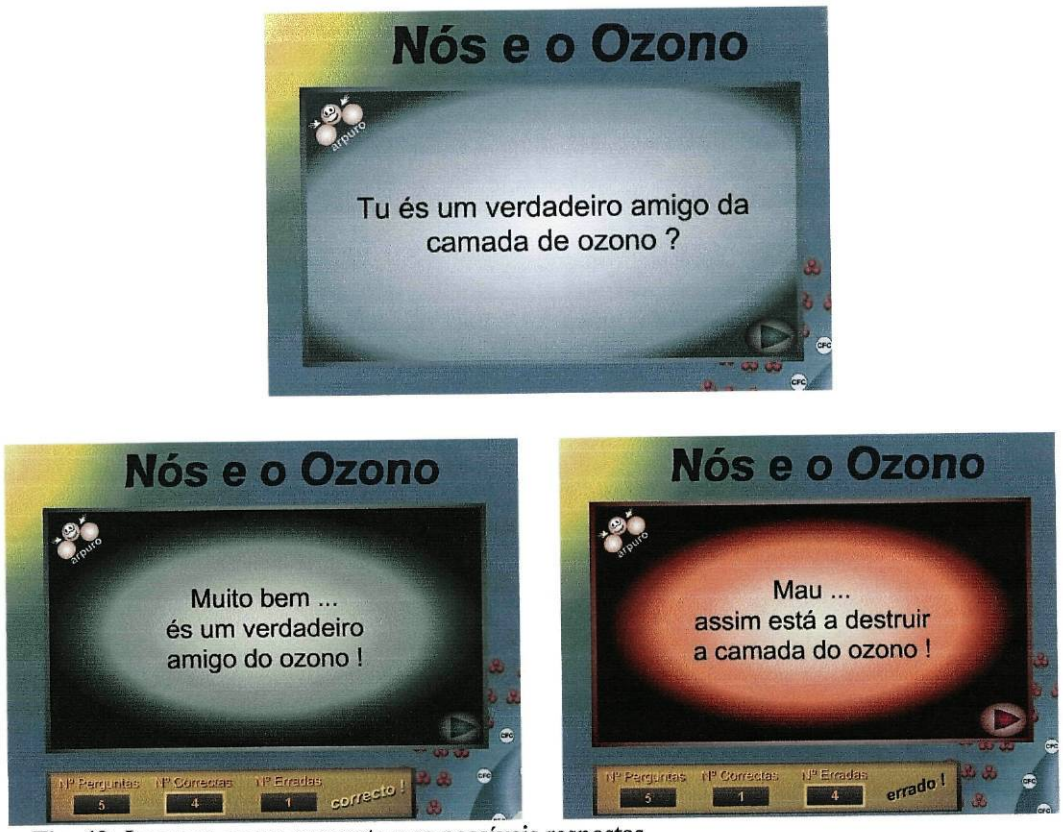


Fig. 49- Imagens com a pergunta e as possíveis respostas

Com este jogo, além de se pretender promover J6, J7 e J14, pretende-se que percebam se são ou não detentores de comportamentos que promovem a destruição da camada de ozono.

Na etapa seguinte, os alunos são consciencializados de que a camada de ozono na estratosfera está a diminuir há vários anos (Fig. 50) e que por conseguinte é necessário serem tomadas determinadas medidas preventivas na exposição ao sol. Esta consciencialização é promovida pela observação do comportamento de dois meninos num dia de praia (Fig. 51), usufruindo-se aqui da vantagem J12.

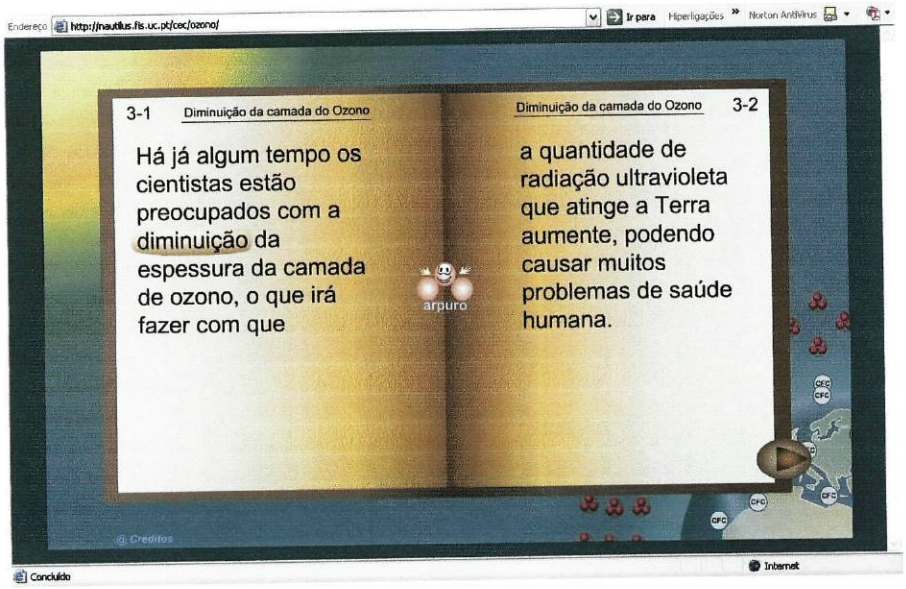


Fig. 50- Hipertexto criado no âmbito desta tese



Fig. 51- Imagem estática do desenho animado usado no nosso software

O protótipo multimédia termina com a explicação das razões que levaram a essa diminuição de espessura na camada de ozono (Fig. 52) e a consciencialização de que é necessário serem tomadas medidas de prevenção na exposição à radiação ultravioleta através do jogo "Prevenir" (Fig. 53).

Há que referir que optámos por apresentar aqui o software educativo na forma como foi implementado com os alunos, porém este ainda se encontra em fase de construção.

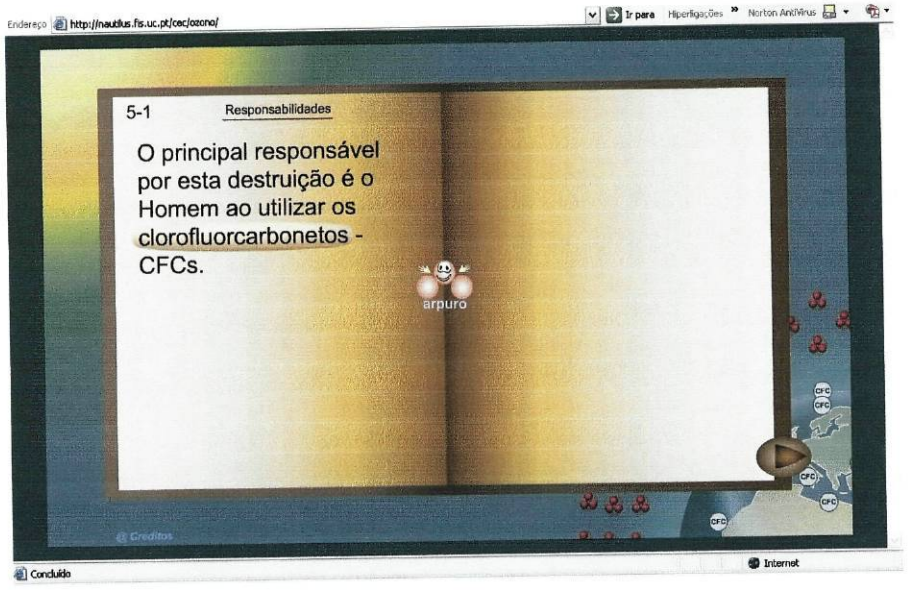


Fig. 52- Hipertexto criado no âmbito desta tese



Fig. 53- Imagem estática do jogo "Prevenir"

Recorrendo à curiosidade natural e à motivação, acreditamos que com esta ferramenta pedagógica realizamos um convite à exploração e proporcionamos aos alunos ou participantes uma aventura criativa e interactiva em que eles, divertindo-se, descobrem e aprendem (CAMACHO, 2003).

6. Estudo de impacte com os alunos

6. Estudo de impacte com os alunos

6.1. Questão de investigação

Neste trabalho pretende-se dar resposta à seguinte questão:

"Que impacte tem o uso de estratégias com forte componente laboratorial/multimédia, em relação a outras mais teóricas, no ensino-aprendizagem de temáticas sobre a "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono"?"

6.2. Metodologia/Procedimento

O estudo do uso de diferentes estratégias de abordagem da problemática da "Diminuição na Espessura da Camada de Ozono na Estratosfera" decorreu em duas secções na Escola E.B. 2,3 das Dairas – Vale Cambra, no ano lectivo 2002/2003, no âmbito da área curricular não disciplinar a Área de Projecto.

A primeira sessão serviu para apresentar aos alunos os objectivos do estudo e avaliar a sua disponibilidade. Como todos se voluntariaram a participar, nessa mesma aula, foram submetidos a um questionário (pré-teste) para avaliar os seus conhecimentos sobre a problemática em estudo.

No sentido de testar então a eficácia das duas diferentes estratégias de ensino-aprendizagem e compará-las com uma estratégia mais teórica esta amostra foi dividida em três grupos de estudo, designados respectivamente por: Grupo Teórico (T), Grupo Laboratorial (L) e Grupo Multimédia (M). É de referir que para este estudo *quase experimental*[2], se tentou que os três grupos fossem o mais equivalente possível (cap. 6.4), o que de outra forma não permitiria a comparação dos dados obtidos. Numa secção seguinte, que decorreu numa das tardes livres da turma, cada um destes grupos abordou este problema com o recurso a uma estratégia diferente, como de seguida se refere.

Ao grupo designado por Teórico fez-se uma abordagem mais "tradicional", com forte componente teórica (sem componente prática, laboratorial ou multimédia), numa das salas de aula da escola. Foi-lhes fornecido um texto informativo, a partir do qual se pretendia que desenvolvessem em grupo a pesquisa, selecção e organização da informação, para que posteriormente realizassem uma exposição oral sobre esta problemática a toda a turma (Fig. 54). O texto fornecido a cada um dos elementos deste grupo é o que se encontra no anexo 4. Esta abordagem decorreu durante cerca de 90 minutos.

[2] O estudo é quase experimental porque a nossa amostra e os grupos constituídos não estão perfeitamente aleatorizados.



Fig. 54- Desenvolvimento da abordagem teórica (No anexo 5 surgem mais fotografias[3])

Com o grupo Laboratorial desenvolveu-se uma actividade prática no laboratório de Ciências Físico-Químicas da escola (Fig. 55 a 58). Esta abordagem decorreu em simultâneo com a anterior, pois a sala de aula onde se desenvolvia a abordagem de cariz mais teórico e o laboratório Ciências Físico-Químicas eram contíguos havendo assim a possibilidade da professora, neste caso também investigadora, alternar com frequência e rapidez entre ambos os locais.

Um dos factores que tivemos, desde logo, em atenção no planeamento desta actividade foi focar problemas com real interesse para os alunos.

Como se tratavam de alunos de 7º ano, para os quais era o primeiro contacto directo com o ensino laboratorial com este nível de complexidade/sofisticação, optámos por lhes fornecer protocolos experimentais (anexo 2). Todos os protocolos tinham como objectivo orientar os alunos e não limitar o seu pensamento e espírito criativo ao longo do seu processo de investigação.

É também nossa convicção, ao fornecer os protocolos experimentais, que os alunos não adquirirem conceitos novos envolvendo-se apenas nas investigações, isto porque, grande parte da informação recolhida torna-se desnecessária para os objectivos que se pretendem realmente atingir.

[3] A todos os elementos envolvidos no estudo foi pedida autorização para que as suas fotografias constassem neste trabalho.

Em todo o percurso, o protocolo experimental além de ser usado como orientação à investigação, foi também usado para recolha e interpretação de dados.

Esta abordagem, devido essencialmente ao tempo de exposição das soluções à radiação ultravioleta, decorreu durante mais tempo, cerca de 240 minutos.

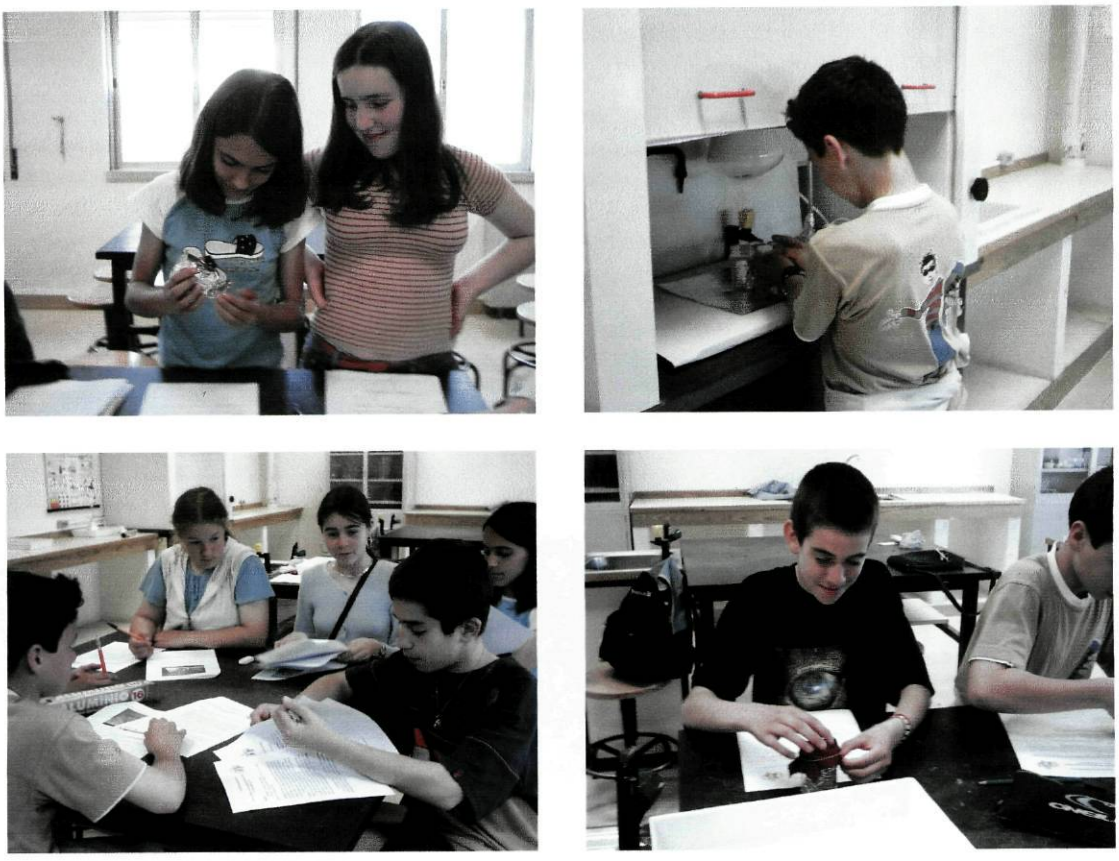


Fig. 55, 56, 57 e 58- Desenvolvimento da abordagem laboratorial (No anexo 5 surgem mais fotografias)

Ao grupo Multimédia deu-se a possibilidade de explorar um protótipo multimédia (Fig. 59 e 60), numa das salas de aula com computadores da escola. O recurso ao computador, com este protótipo deu a possibilidade a este grupo de abordar o problema de uma forma lúdica, na medida em que estes foram adquirindo os conhecimentos com um software educativo com componente multimédia significativa (que se encontra em http://nautilus.fis.uc.pt/cec/ozono e em CD no anexo 11), ou seja, os alunos aprenderam divertindo-se!

Apesar de todas as abordagens seguirem o mesmo fio condutor, a informação surge para estes elementos de maneira diferente, pois surge-lhes por: texto, imagem e som.

Estamos conscientes que neste grupo os elementos intervenientes aprenderam de forma muito mais autónoma. A nosso ver aprenderam mesmo a aprender, ao dirigirem eles

próprios o seu percurso de aprendizagem, pois o programa utilizado promoveu a deslocação para os alunos do centro do processo de ensino-aprendizagem.

Para que isto fosse possível na execução deste programa tivemos em especial atenção a sua organização, pois só assim foi possível evitar situações menos agradáveis na exploração, quer para os alunos, quer para a professora envolvida no estudo, neste caso também investigadora.

Como já admitimos, no momento da aplicação deste protótipo multimédia (cerca de 6 semanas após a implementação das abordagens de cariz mais teórico e laboratorial) este ainda não estava completo. Encontrava-se numa versão provisória, já motivante e eficaz mas aquém dos nossos objectivos iniciais.

Para a exploração, propriamente dita, que decorreu durante cerca de 90 minutos, sempre na presença da professora, o grupo foi dividido em grupos mais pequenos promovendo-se assim uma discussão produtiva entre eles.

Além do objectivo essencial deste programa (que era alertar para o perigo da diminuição da espessura da camada de ozono), também conseguimos para alguns dos elementos envolvidos neste estudo promover o primeiro contacto directo com o computador, um instrumento de trabalho que todos nós reconhecemos como indispensável e quase omnipresente.





Fig. 59 e 60- Desenvolvimento da abordagem multimédia (No anexo 5 surgem mais fotografias)

Imediatamente no final de cada uma das sessões os alunos foram sujeitos ao mesmo questionário (pós-teste) para que se avaliasse o acréscimo ou não dos conhecimentos sobre este assunto.

Como já admitimos estas três abordagens, por razões que não pudemos controlar, não foram realizadas em simultâneo. A abordagem multimédia foi realizada cerca de 6 semanas após as abordagens teórica e laboratorial, essas sim realizadas na mesma tarde. No entanto, há

que salientar que foi pedido aos alunos destas duas abordagens para não comentarem nada com os colegas, o que acreditamos ter sido verdadeiramente cumprido.

6.3. Plano de estudo adoptado

De modo sucinto o plano de estudo adoptado foi o seguinte (COHEN e MANION, 1994):

O_1	1 semana	X_T	O_2
O_1	1 semana	X_L	O_3
O_1	7 semanas	X_M	O_4

Em que:

O_1 – observação do grupo antes da implementação de qualquer uma das metodologias (pré-teste)

O_2 – observação do grupo T após abordagem com forte componente teórica (sem componente prática, laboratorial ou multimédia) (pós-teste T)

O_3 – observação do grupo L após abordagem com forte componente laboratorial (pós-teste L)

O_4 – observação do grupo M após abordagem com forte componente multimédia (pós-teste M)

X_T – exposição do grupo a uma abordagem com forte componente teórica

X_L – exposição do grupo a uma abordagem com forte componente laboratorial

X_M – exposição do grupo a uma abordagem com forte componente multimédia

Há que salientar que este estudo pretende ser apenas um estudo piloto. Os grupos são extremamente pequenos, o que implica que todas as conclusões não devem ser generalizadas com confiança para o universo (alunos portugueses do 7º ano de escolaridade), pois a amostra poderá não ser representativa. Consideramos por isso, que fará todo o sentido em futuras oportunidades repetir este estudo expandindo o tamanho da amostra e a sua representatividade. Todavia, consideramos que esta investigação é válida, como estudo piloto que pretende ser, podendo mesmo fornecer alguma informação da realidade do universo. É de notar ainda que do questionário consta alguma informação qualitativa (ver secção 7.3) que confere ao presente estudo um carácter que não é estritamente quantitativo.

6.3.1. Instrumento de recolha de dados

Como método de observação, como já foi referido, foram colocadas um série de questões na forma de questionário escrito (anexo 6) aos elementos de todos os grupos antes (pré-teste) e após (pós-teste) a implementação das referidas metodologias de ensino. Refira-se que ambos os questionários foram respondidos na presença da professora, neste caso também investigadora.

O método de recolha de dados, o questionário, é um instrumento rigoroso padronizado, tanto no texto das questões como na sua ordem. Para garantir a comparabilidade das respostas de todos os indivíduos, foi absolutamente indispensável que cada questão fosse colocada da mesma forma a cada aluno, sem adaptações nem explicações suplementares resultantes da iniciativa de quem administra o questionário. Para que tal fosse possível foi nossa intenção que cada questão fosse perfeitamente clara, sem qualquer ambiguidade e que os alunos soubessem exactamente o que se espera dela (GHIGLIONE e MATALON, 1993).

Neste questionário, optámos por 34 perguntas fechadas e 1 pergunta aberta. Na tabela seguinte citam-se algumas das vantagens e desvantagens associadas a cada um destes dois tipos de perguntas (HILL e HILL, 2000):

Tabela 25- Vantagens e desvantagens das perguntas abertas e das perguntas fechadas

Tipo de pergunta	Vantagens	Desvantagens
Perguntas abertas	- Podem dar mais informação; - Muitas vezes dão informação mais rica e detalhada; - Por vezes dão informação inesperada.	- Muitas vezes as respostas têm que ser "interpretadas"; - É preciso muito tempo para codificar as respostas; - Normalmente é preciso utilizar pelo menos dois avaliadores na "interpretação" e codificação das respostas; - As respostas são mais difíceis de analisar numa maneira estatisticamente sofisticada e a análise requer muito tempo.
Perguntas fechadas	- É fácil aplicar análises estatísticas para analisar as respostas; - Muitas vezes é possível analisar os dados de maneira sofisticada.	- Por vezes a informação das respostas é pouco "rica"; - Por vezes as respostas conduzem a conclusões simples demais.

Há que referir também que estamos conscientes que a metodologia adoptada pode tornar-se opaca para o diagnóstico pretendido. Assim sendo, pensamos que para que a extrapolação das conclusões para o universo apresente uma razoável confiança, além de ser pertinente alargar as dimensões da amostra, também terá todo o interesse em futuras investigações neste âmbito utilizar como método de observação complementar a entrevista.

6.4. Caracterização da amostra

A amostra é constituída por alunos voluntários de uma turma de 7º ano, no âmbito da área curricular não disciplinar Área de Projecto, subordinada ao tema "O ambiente".

Esta turma é constituída por 21 alunos, 14 do sexo feminino e 7 do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 11 e 14 anos.

A nível de aproveitamento é uma turma bastante razoável, não apresentando no primeiro e segundo períodos nenhuma disciplina com média inferior a três.

Com o intuito de seleccionar grupos o mais equivalentes possível, foram tidos em conta dados de natureza quantitativa e qualitativa, nomeadamente o sexo, a idade, o número de repetências, os resultados dos testes de avaliação e nível sócio cultural. Os dados relativos ao nível sócio cultural dos alunos foram fornecidos pelo director de turma, no início do ano lectivo, aquando da "Caracterização global da turma", a partir da recolha de informação das fichas biográficas.

Sintetizando os grupos escolhidos apresentam as seguintes características (Tabela 26):

Tabela 26- Características dos três grupos

Grupo	Nº	Sexo		Idade média	Retenções		$\bar{\chi}_{testes}$
		M	F		0	1	
T	7	2	5	11,7	6	1	66,11
L	7	3	4	11,7	7	0	67,00
M	7	2	5	12,1	5	2	67,07

É de referir que todos os participantes são alunos da autora desta dissertação na disciplina de Ciências Físico-Químicas, o que de certa forma ajudou a criar grupos o mais equivalentes possível. Esta equivalência, como já foi referido, é imprescindível para que se possa fazer a comparação dos resultados após o ensino diferenciado da problemática da camada de ozono.

Um dos elementos de natureza quantitativa que poderá demonstrar a equivalência dos grupos são as notas dos testes de avaliação à disciplina de Ciências Físico-Químicas (anexo 7) durante o primeiro e segundo períodos.

Para verificar se havia ou não diferenças estatísticas significativas entre as médias dos testes por grupo (Tabela 27 e Gráfico 1) e a média dos testes por alunos (Tabela 28 e Gráfico 2) recorreu-se à análise de variância[4]. Esta técnica foi também usada para verificar se havia ou não diferenças estatísticas significativas entre as três metodologias de abordagem usadas, como tal em 7.2 descrevemos as fases do processamento deste teste de hipóteses, de forma a facilitar a sua compreensão.

[4] Reconhecemos uma certa desproporção entre a dimensão da nossa amostra e a "sofisticação estatística" para a divisão dos grupos atendendo aos testes de avaliação à disciplina de Ciências Físico-Químicas. Todavia achamos razoável fazer esta abordagem numérica que prepara um tratamento eventual futuro, com uma amostra maior e mais aleatorizada.

Tabela 27- Parâmetros estatísticos relativos aos testes à disciplina de Ciências Físico-Químicas dos diferentes grupos antes do ensino diferencial

Teste	Parâmetro estatístico	Grupo		
		Teórico	Laboratorial	Multimédia
Todos (1º ao 4º)	$\overline{\chi}$	66,11	67,00	72,86
	$F_{amostral}$	0,01		
1º	$\overline{\chi}_1$	71,86	70,00	72,86
	$F_{amostral}$	0,05		
2º	$\overline{\chi}_2$	61,43	63,71	68,86
	$F_{amostral}$	0,28		
3º	$\overline{\chi}_3$	61,71	64,71	61,00
	$F_{amostral}$	0,09		
4º	$\overline{\chi}_4$	69,43	69,57	65,57
	$F_{amostral}$	0,14		

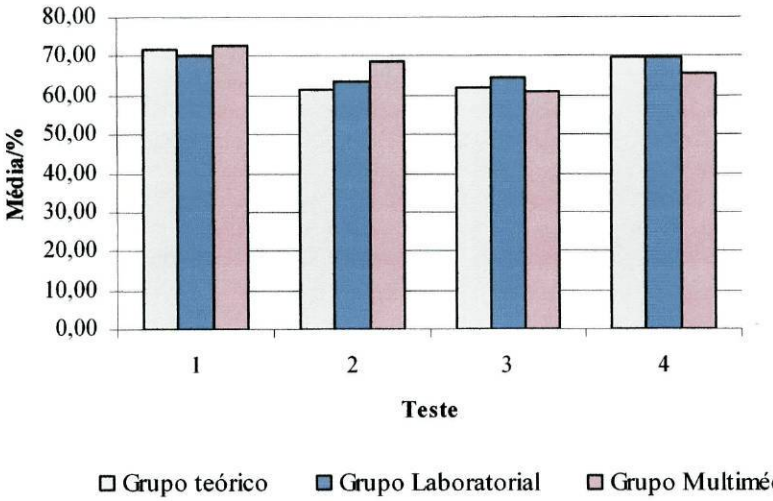


Gráfico 1 – Comparação da média dos testes à disciplina de Ciências Físico-Químicas dos diferentes grupos antes do ensino diferencial

Para um nível de significância de 5% não há razão para rejeitarmos as hipóteses:

- a média dos quatro testes entre os três grupos são iguais

(H_0: $\overline{\chi}_T = \overline{\chi}_L = \overline{\chi}_M$)

- a média de cada um dos testes entre os três grupos são iguais

(H_0: $\bar{\chi}_{iT} = \bar{\chi}_{iL} = \bar{\chi}_{iM}$ em que i representa o número do teste), pois apenas as rejeitávamos caso $F_{amostral}$ fosse maior do que $F_{crítico}$, neste caso 3,55 (anexo 8). Assim sendo, desta análise conclui-se que para os quatro testes não há diferenças significativas entre os três grupos.

Do mesmo modo, pode obter-se, para cada aluno (referenciados de A a G), a média dos quatro testes e verificar ou não a sua equivalência.

Tabela 28- Parâmetros estatísticos relativos aos diferentes alunos (desde o aluno A ao aluno G) antes do ensino diferencial

	$\bar{\chi}_A$	$\bar{\chi}_B$	$\bar{\chi}_C$	$\bar{\chi}_D$	$\bar{\chi}_E$	$\bar{\chi}_F$	$\bar{\chi}_G$
Grupo T	48,75	56,00	56,50	66,50	69,75	81,75	83,50
Grupo L	48,50	52,00	62,00	65,50	76,50	79,75	84,75
Grupo M	31,75	57,75	60,00	66,50	80,75	81,25	91,50
$F_{amostral}$	3,58	0,71	0,19	0,03	2,06	0,08	2,28

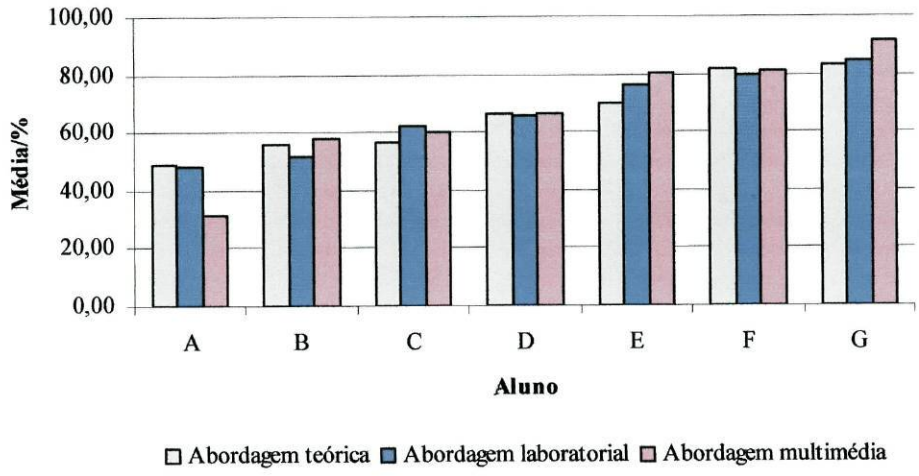


Gráfico 2- Comparação da média dos quatro testes dos diferentes alunos antes do ensino diferencial

Para um nível de significância de 5% não há razão para rejeitarmos a hipótese de que:

- a média dos quatro testes dos alunos de A a G, que compõem cada um dos grupos, são iguais

(H_0: $\bar{\chi}_{jT} = \bar{\chi}_{jL} = \bar{\chi}_{jM}$, em que j representa o aluno),

pois apenas a rejeitávamos caso $F_{amostral}$ fosse maior do que $F_{crítico}$, neste caso 4,26 (anexo 8). Assim sendo, desta análise novamente se conclui não haver diferenças significativas entre os diferentes alunos dos três grupos.

6.5. Procedimento de análise dos dados quantitativos

Os resultados obtidos nos questionários administrados foram tratados estatisticamente de acordo com as sugestões de Glass e Hopkins (1984). De acordo com este, a aprendizagem não pode ser medida apenas atendendo à diferença entre os valores do pré-teste e do pós-teste, pelo facto dos valores obtidos pelos alunos no pós-teste estarem correlacionados negativamente com os valores obtidos no pré-teste. De acordo com este autor, para quantificar a aprendizagem, é necessário utilizar a regra de regressão dos resultados do pós-teste em função dos resultados do pré-teste. Desta forma os ganhos, segundo ele designados por Ganhos Residuais (GR), são calculados através da diferença entre os valores previstos para o pós-teste a partir dos valores obtidos pelos alunos no pré-teste e o próprio valor do pós-teste.

Esta forma de calcular o ganho da aprendizagem tem a vantagem de "eliminar" uma das ameaças à validade interna do estudo designada por regressão para a média ou regressão estatística. Este fenómeno é caracterizado pela tendência de alunos com notas baixas no pré-teste subirem no pós-teste e de alunos com notas altas no pré-teste baixarem no pós-teste.

As etapas seguidas para o tratamento dos dados foram:

1º Avaliação e quantificação das respostas dadas pelos alunos nos questionários (pré-teste e pós-teste). (anexo 9)

2º Representação gráfica dos valores obtidos no pós-teste (y) em função dos valores obtidos no pré-teste (x).

3º Cálculo dos valores esperados no pós-teste ($y_{esperado}$) a partir da equação da recta obtida, tal que $y_{esperado} = mx + b$.

4º Cálculo dos valores dos ganhos residuais (GR) para cada aluno como sendo a diferença entre o valor obtido no pós-teste e o valor esperado calculado a partir da recta de regressão ($GR = y - y_{esperado}$).

5º Cálculo do ganho residual corrigido (GRC) para cada aluno a partir da expressão: GRC = GR + |menor ganho|. A necessidade do valor do GRC impõe-se para que não existam valores negativos para a grandeza ganho.

6º Cálculo do ganho residual corrigido médio (GRCM) para cada grupo através da expressão da média.

Os GRCM foram posteriormente submetidos a um teste de hipóteses conhecido por ANOVA.

6.6. Limitações do estudo

Qualquer que seja o tipo de pesquisa e a sua dimensão, as conclusões, bem como as generalizações que dela se podem retirar estão sempre condicionadas em termos de validade interna e externa (COHEN e MANION, 1994).

Neste caso, a validade interna está relacionada com a questão de se saber se o tratamento foi ou não responsável pela diferença entre os três grupos. Ou seja, se os resultados obtidos são ou não atribuíveis ao efeito da utilização de diferentes metodologias de abordagem da problemática da camada de ozono. Na validade interna está em causa, então, a legitimidade das conclusões.

Poderá considera-se uma limitação ao estudo efectuado a escolha não aleatória dos elementos da amostra, eventualmente a selecção atendendo ao sexo, à idade, ao número de repetências, ao nível sócio cultural e à média dos testes de avaliação até então realizados e não um recrutamento de forma aleatória poderá ter influenciado os resultados. Outra das ameaças à validade interna prende-se com a utilização de um teste como método de observação, pois pelo menos parte dos alunos poderá ter "sofrido" aquilo a que se chama "sensibilização do teste".

A validade externa, por seu lado, está relacionada com a questão da generalização dos resultados, ou seja, se os resultados deste estudo poderem ou não ser generalizados a qualquer população.

Neste caso, a validade externa está claramente ameaçada pelo número muito pequeno de alunos em cada amostra. Todavia apesar de uma amostra com esta dimensão poder não ser representativa, poderá fornecer bons indícios da realidade do universo, não retirando por isso validade ao estudo, que pretende acima de tudo, como já foi referido, ser um estudo piloto.

Outra das ameaças pertinentes à validade externa prende-se com o facto dos elementos da amostras terem sido submetidos a um pré-teste. Este poderá ter sensibilizado alguns alunos relativamente aos objectivos do estudo, levando a que os resultados do pós-teste sejam influenciados pelos do pré-teste e não devidos apenas ao tratamento a que os grupos foram submetidos. Ou seja, os alunos podem ter ganhos por "treino" no teste e não por efeitos de tratamento.

Por outro lado, o "efeito novidade" quer para o grupo L (como referimos anteriormente, este trabalho laboratorial teve um nível de sofisticação muito superior ao que

os alunos estavam habituados), quer para o grupo M, também poderá representar uma ameaça à validade externa. Os elementos destes grupos, como é compreensível apresentavam um acréscimo motivacional em comparação com os elementos do grupo T. Daí a generalização dos resultados estar de certa forma limitada. Outra das ameaças está associada ao "efeito do experimentador". Sabemos como o empenho e a motivação do elemento envolvido na investigação pode influenciar os resultados do estudo. Este efeito é, contudo, praticamente incontornável.

7. Discussão dos resultados

7. Discussão dos resultados

7.1. Apresentação dos dados quantitativos obtidos

No Gráfico 3 representamos os resultados obtidos pelos alunos de todos os grupos no pré-teste e no pós-teste (anexo 10):

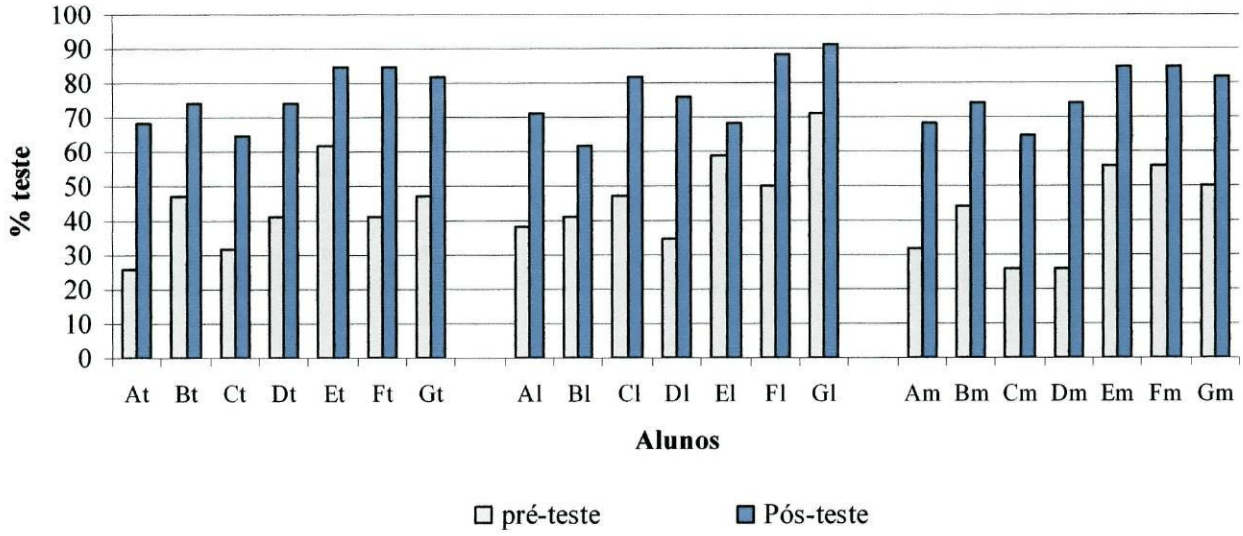


Gráfico 3- Resultados obtidos pelos participantes no pré-teste e no pós-teste

Os resultados obtidos no pós-teste foram representados em função dos resultados obtidos no pré-teste, sendo a equação da recta ajustada pelo método dos mínimos quadrados, utilizada posteriormente para calcular os valores previstos para o pós-teste ($y_{esperado}$) (Gráfico 4). Isto porque, o valor do ganho residual é obtido pela diferença entre o valor obtido no pós-teste e o valor esperado ($GR = y - y_{esperado}$).

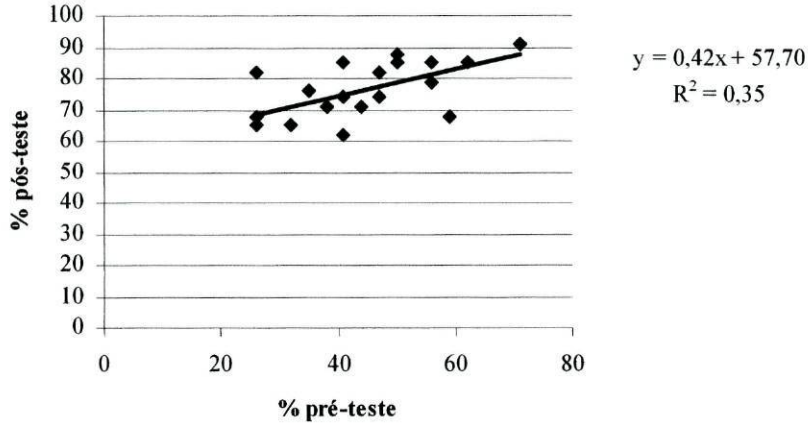


Gráfico 4- Representação gráfica dos valores obtidos no pós-teste em função dos valores obtidos no pré-teste

A cada ganho residual adicionamos o valor absoluto do menor ganho, obtendo-se assim o ganho residual corrigido para cada aluno, cujos valores representamos no gráfico seguinte.

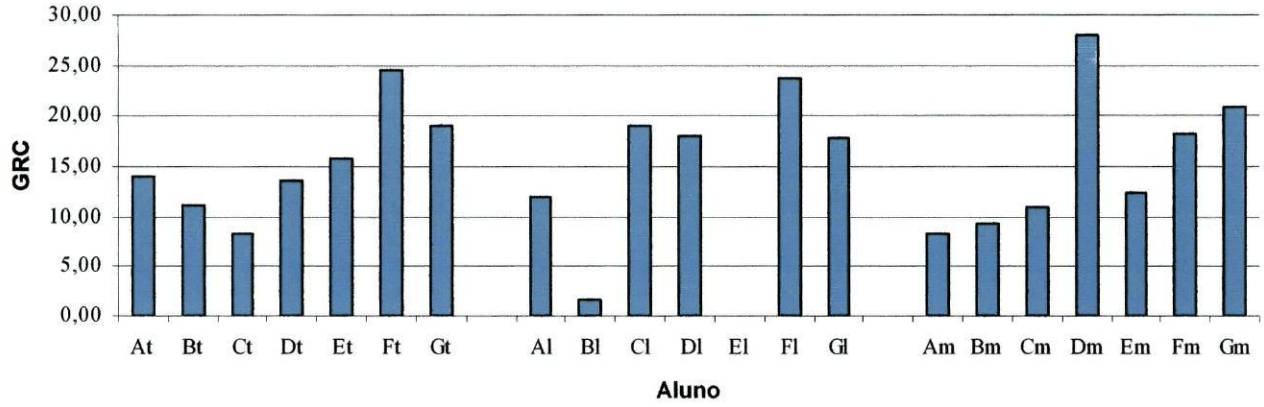


Gráfico 5- Ganhos residuais corrigidos para cada aluno

A partir dos valores dos ganhos residuais corrigidos, calculamos para cada grupo, o valor do ganho residual corrigido médio, cujos valores surgem na Tabela 29:

Tabela 29- Ganhos residuais corrigidos médios

Grupo	GRCM
Teórico	15,19
Laboratorial	13,20
Multimédia	15,41

7.2. Tratamento dos dados quantitativos obtidos

Os GRCM foram posteriormente submetidos a um teste de hipóteses, cujo objectivo fundamental era verificar se havia ou não diferenças estatisticamente significativas entre as médias amostrais, neste caso os GRCM. Como se pretendia a comparação entre parâmetros de mais do que duas populações recorremos à análise de variância, técnica muitas vezes designada sinteticamente por ANOVA, que resulta da contracção do nome que recebe em inglês: *analysis of variance*[5].

Para facilitar a compreensão da metodologia utilizada no referido teste de hipóteses, descreveremos quatro fases do seu processamento (GUIMARÃES e CABRAL, 1997):

1- Definição das hipóteses

H_0: $GRCM_T = GRCM_L = GRCM_M$

H_1: $GRCM_X \neq GRCM_Y$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

2- Identificação da estatística do teste e caracterização da sua distribuição

$$F = \frac{DQMEG}{DQMDG}$$

Em que:

- DQMEG (Desvio quadrático médio entre grupos) define-se como o quociente:

$$DQMEG = \frac{VEG}{I-1} = \frac{1}{I-1}\sum_i J_i\left(\overline{X}_i - X\right)^2,$$

Sendo VEG, a variação entre grupos, que corresponde à soma ponderada das variações das médias de cada grupo $\overline{X}_i$, em torno da média global, $\overline{X}$ (com pesos proporcionais ao número de observações em cada grupo, J_i).

- DQMDG (Desvio quadrático médio dentro dos grupos) define-se como o quociente entre a variação dentro dos grupos e o número de termos independentes que tal variação comporta (ou, como também se diz, o correspondente número de graus de liberdade).

[5] Assumimos aqui também desproporção entre a dimensão da nossa amostra e a "sofisticação estatística" de tratamento de dados. Porém como já referimos achamos razoável, mais uma vez fazer esta abordagem numérica que prepara um tratamento eventual futuro, com uma amostra maior e mais aleatorizada.

$$DQMDG = \frac{VDG}{\sum_i J_i - I} = \frac{1}{\sum_i J_i - I} \sum_i \sum_j \left(X_{ij} - \overline{X_i}\right)^2$$

Sendo VDG, a variação dentro dos grupos, que corresponde à soma das variações das observações $\overline{X}_{ij}$ dentro de cada um dos diferentes grupos (para cada grupo i, a variação das observações é calculada relativamente a $\overline{X}_i$).

Esta variável F tem a distribuição de Snedcor com (I-1, $\sum_i J_i - I$) graus de liberdade.

3- Definição da regra de decisão, com especificação do nível de significância do teste

Para um nível de significância de 5%, rejeita-se H_0 caso $F_{amostral} > F_{crítico}$

4- Dados amostrais, cálculo de estatísticas e tomada de decisão do teste de hipóteses

Tabela 30- Ganhos residuais corrigidos por aluno

Aluno	Grupo		
	Teórico	**Laboratorial**	**Multimédia**
A	13,92	11,86	8,39
B	11,06	1,59	9,33
C	8,39	19,06	10,92
D	13,59	18,13	27,92
E	15,73	0	12,26
F	24,59	23,8	18,26
G	19,06	17,93	20,8

Tabela 31 e Tabela 32- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média (GRCM)	Variância
Teórico	7	106,34	15,19	28,52
Laboratorial	7	92,37	13,20	84,03
Multimédia	7	107,88	15,41	51,67

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	20,86	2	10,44	0,19	3,55
Dentro de grupos	985,31	18	54,74		
Total	1006,17	20			

Para um nível de significância 5%, não há razão para rejeitarmos a hipótese nula, pois apenas a rejeitaríamos caso $F_{amostral}$ fosse maior do que $F_{crítico}$ (3,55). Assim sendo, em relação ao estudo efectuado pode-se afirmar que não se observaram diferenças estatísticas significativas entre as médias amostrais ou seja, entre as médias dos ganhos residuais corrigidos.

Apesar de não ser notória grande diferença entre as referidas abordagens para esta amostra, de acordo com a terminologia usada no estudo $GRCM_T = GRCM_L = GRCM_M$, estamos convencidos que tal facto pode ficar a dever-se, de entre outros factores, ao instrumento de avaliação da aprendizagem usado, um teste de papel e lápis – o inquérito.

Sabemos que estes testes escritos visam avaliar fundamentalmente aprendizagens do domínio cognitivo, logo não avaliaram toda a aprendizagem dos alunos mas apenas parte desta. Estamos conscientes que, independentemente da metodologia de abordagem usada, os alunos apreenderam muito mais do que aquilo que lhes foi solicitado pelo inquérito.

Sabemos todos que se há aprendizagens que se avaliam através dos testes, outras há que têm que ser feitas por outras formas, nomeadamente pela observação ou pela entrevista (PAIS e MONTEIRO, 1996). Não se pode querer verificar com testes escritos senão uma parte limitada das capacidades do aluno, como sejam o seu bom conhecimento dos factos e a sua aptidão para resolver problemas de solução única (MACHADO, 1994).

No entanto, há que referir que talvez por estarem entre hábitos muito enraizados ou talvez por se pensar que são a melhor forma de avaliação (PAIS e MONTEIRO, 1996), ainda hoje os testes de papel e lápis continuam a ser nas nossas escolas o método de avaliação mais correntemente utilizado para avaliar os progressos dos alunos (MACHADO, 1994), apesar dos curricula incluírem, para além da aquisição de conhecimentos, o desenvolvimento de capacidades e a promoção de atitudes (PAIS e MONTEIRO, 1996). Assim sendo, a função de avaliar deveria corresponder a uma análise cuidada das aprendizagens conseguidas face às aprendizagens planeadas, o que se traduziria numa informação para professores e alunos dos objectivos atingidos e daqueles onde surgem mais dificuldades (PAIS e MONTEIRO 1996). Como esses objectivos não se limitam apenas ao campo cognitivo, há que estar consciente da necessidade de utilizar outros instrumentos de avaliação, para além dos testes escritos.

Todavia não podemos avançar sem referir que esta é uma acção de grande dificuldade, que advém sobretudo do facto de que, ao fazê-lo, estamos a emitir juízos de valor, a privilegiar saberes, maneiras de ser e de estar. Por muito objectiva que se queira a avaliação, ela dependerá sempre dos intervenientes, dos momentos e das situações concretas (PAIS e MONTEIRO, 1996).

Retomando o comentário à falta de diferença em termos dos ganhos dos alunos com as diferentes metodologias de abordagem, estamos convencidos que isto se deve também à amostra usada no estudo. Os alunos desta turma eram de um bom desenvolvimento cognitivo e de fácil motivação para o mundo escolar, o que infelizmente começa a ser uma raridade nas nossas escolas, fruto de um ensino que se pretende massificado (cada vez mais se encontram alunos com interesses divergentes dos escolares, de difícil motivação). Quando nos encontramos com alunos que não se esforçam, parecem não mostrar interesse pelo que a escola lhes oferece, a questão que nos surge como elementos intervenientes do processo educativo é o que fazer para os motivar. Com alunos desses acreditamos que os resultados deste estudo seriam muito diferentes, pois acreditamos que as abordagens, nomeadamente a laboratorial e a multimédia seriam mais motivadoras, pela possibilidade que lhes davam para interagir prevendo-se maiores ganhos nestes dois grupos.

Outra das possíveis diferenças entre as abordagens e que não avaliamos reside naquilo que permanecerá na mente dos alunos a longo prazo. Acreditamos que para grande parte dos alunos a retenção dos conhecimentos adquiridos segue o seguinte provérbio chinês: "Foi-me dito e esqueci; eu vi e lembrei-me; eu fiz e compreendi". Se assim for, com as abordagens laboratorial e multimédia, os conhecimentos permanecerão muito mais tempo na mente dos alunos, ao contrário do que acontecerá com os conhecimentos adquiridos a partir da abordagem com forte componente teórica. Seria muito interessante, daqui a 2 ou 3 anos, verificar o que ficou deste trabalho na mente dos alunos.

Porém ao confirmarmos neste estudo a "hipótese nula", não o consideramos de modo algum como uma decepção. Ela pode sustentar, afinal, uma intuição que até corroboramos como verdadeira, emergente da experiência prática lectiva: não há metodologias de privilégio e importa até a convergência. Estratégias mais clássicas/teóricas, com maior componente laboratorial ou com maior componente multimédia podem ser, equivalentemente, quando bem planeadas e protagonizadas, "bons caminhos para aprender".

7.3. Apresentação dos dados qualitativos obtidos

Na tabela seguinte encontram-se transcritas, integralmente ou parcialmente, as respostas à pergunta aberta existente no questionário, quando este é apresentado como pós-teste:

Tabela 33- Comentários dos alunos que surgem na pergunta aberta existente no questionário

Abordagem	Comentários
Teórica	- "Eu penso que fiquei com as minhas dúvidas esclarecidas..."; "...gostei de conversar sobre isso com os meus colegas..."; - "Eu achei muito interessante..."; - "...acho muito importante colaborarmos. Gostei muito porque é um tema da actualidade e é muito importante"; - "Gostei porque acho que é um tema que todos devemos falar. Além disso é muito interessante para os dias de hoje"; - "Gostei desta "matéria", aprendi coisas novas"; " Não compreendo de que são feitos os CFCs"; - "Eu gostei muito de ter aprendido esta "matéria". Valeu mesmo a pena. No outro questionário que até era o mesmo, eu respondi quase tudo mal, pelo que me lembro"; - "Eu até já tinha falado sobre isto, mas foi muito por alto. Confesso que até aqui, era um assunto que me passava bem ao lado, ou seja, não tinha muito interesse. Confundia isto tudo e nem sequer sabia estas coisas das radiações ultravioleta, ..., achava que as radiações ultravioleta tinham algo a ver com o arco-íris, devido ao nome "violeta"".
Laboratorial	- " Gostei muito de fazer experiências laboratoriais, mas o tempo de espera é muito. Acho que aprendemos muito com estas experiências"; - "Agora com esta aula de laboratório aprendi mais, antes não sabia tanto. Gostei muito desta aula laboratorial. Gostava de fazer mais aulas como esta que tive neste dia"; - "...acho que ajudou muito, porque aprendi muito mais."; "Só não gostei da espera que foi muito longa, mas valeu a pena pois vimos resultados espectaculares..."; "...é pena que nós não possamos ser uma turma de 7 alunos porque assim faríamos muito mais experiências"; - "Não sabia quase nada sobre o ozono quando fiz a primeira ficha, mas

	depois destas experiências todas fiquei a saber muito mais..."; "Adorei fazer este trabalho foi muito giro, gostava era de ter mais aulas de laboratório"; - "...gostei muito de participar nesta actividade. Gostava que houvessem mais actividades como esta, porque eu adoro trabalhar no laboratório, ou seja de fazer "Experiências""; - "No dia em que fizemos as experiências eu compreendi muito..."; "...Só achei chato o tempo de espera mas não me importo de fazer esta "aula" porque aprendi muito"; - "Acho que o tempo de espera foi bastante longo. Gostei muito de aprender os problemas da nossa atmosfera"; "Os trabalhos de laboratório fazem com que os alunos se interessem mais pelo assunto tratado. Acho que poderíamos fazer mais vezes este tipo de experiências porque todos gostaram".
Multimédia	- "Gostei desta actividade no computador, eu adorei"; - "Gostei do programa... estava bem feito com tudo o que era preciso"; - "...mas algumas pessoas que não sabem algumas coisas e que deveriam saber...fazem as coisas precisamente ao contrário do que deveria ser feito." - " O ozono só protege dos raios ultravioleta?"; - "Eu gostei muito de trabalhar neste trabalho sobre a camada de ozono, achei interessante e divertido"; - "A partir daquele jogo no computador já pude compreender melhor este problema. Apesar de já saber que o buraco do ozono é um problema grave, ainda não sabia quase nada sobre isso. Mas, agora tomarei as devidas precauções para me proteger e não agravar ainda mais este problema".

Pelos comentários facilmente depreendemos que são alunos com interesse em aprender e de fácil motivação para esta temática. Porém esta motivação poderá ter sido ampliada por vários factos, nomeadamente:

- A aprendizagem cooperativa, existente em qualquer um dos casos, é mais motivante do que a aprendizagem individual e competitiva;

- As tarefas realizadas pelos elementos envolvidos não são de modo algum repetitivas, antes pelo contrário apresentam-se como bastante criativas;

- Era-lhes dada autonomia, o que a nosso ver promove a motivação para o sucesso e a auto-estima;

- Todos os participantes estavam conscientes dos objectivos que se pretendia que alcançassem;

- Tratava-se de uma situação inovadora. O simples facto de saberem que estavam a participar num estudo inovador é extremamente motivante – "efeito novidade".

7.4. Capacidade das diferentes sugestões metodológicas para superar as CA's

Pela análise das respostas às perguntas fechadas no pré-teste e no pós-teste podemos dizer que todas as metodologias conseguem superar com sucesso algumas das concepções alternativas referidas em 4.2. Para facilitar a análise da capacidade de cada estratégia para superar determinada CA referimos o número de alunos que após o ensino diferenciado desta temática voltaram a referir essa CA (Tabela 34):

Tabela 34- Avaliação da capacidade das diferentes abordagens para superar algumas das CA's existentes sobre este tema

CA	Avaliado no questionário com a questão	Abordagem		
		Teórica	Laboratorial	Multimédia
A10	9	0	0	1
A12	7	1	0	0
A14	18	0	0	0
B1	11	0	0	0
B2	11	1	0	0
B4	11	0	0	0
B12	11	0	0	0
C1	20	0	0	0
C9	20	0	0	0
C10	20	0	0	0
C12	20	0	0	0
D2	14	0	0	0
D4	14	0	0	0
D8	14	0	0	0
E1	23	0	0	0
E2	23	0	0	0

8. Conclusões

8. Conclusões

Reconhecemos que a sociedade entrou numa nova fase, a que alguns chamam de pós-industrial. As sociedades transitaram de lógicas industriais, dominantes na Sociedade Industrial, para lógicas do saber, em que as necessidades cada vez mais passam a centrar-se na obtenção de "trabalhadores do saber" (FIGUEIREDO, 2002). Neste sentido, é necessário preparar os jovens para uma aprendizagem permanente, num mundo em constante mudança. Encontramo-nos cada vez mais perante a necessidade duma mudança de filosofia no que respeita aos objectivos do ensino, pois a escola não consegue atender mais ao objectivo de ser a única instituição responsável pela disseminação de conhecimentos.

Assim sendo, a aprendizagem não pode mais ser concebida apenas como uma mudança conceptual mas, para além disso, como mudança de atitudes e metodologia, com uma participação activa dos alunos na construção do conhecimento. Com esta viragem (para o racionalismo e o construtivismo) é da máxima importância que os professores operem também dentro deles a mudança respectiva (LOPES, 1994) na forma como propõem aos alunos o caminho para a aprendizagem. No âmbito desta tese propomos e comparamos com o ensino mais teórico duas metodologias de abordagem, a laboratorial (cap. 5.1) e a multimédia (cap. 5.2), do problema "Diminuição da Espessura da Camada de Ozono".

Com este trabalho acreditamos ter demonstrado que o recurso quer ao ensino laboratorial, quer ao ensino multimédia no processo de aprendizagem pode assumir formas muito diferentes, com efeitos diametralmente opostos. Tudo depende das interacções que se estabelecem com eles, os alunos e o professor, pois estamos ainda muito longe de conhecer todas as suas implicações quer positivas, quer negativas destes diferentes tipos de abordagem nos processos cognitivos, afectivos e sociais (cap. 5.1.4. e cap. 5.2.4).

Porém, com qualquer uma delas, só por si, não se podem esperar "milagres". Só por si, estas abordagens podem não mudar directamente o ensino, nem funcionar como um estímulo à aprendizagem. O sucesso do seu uso depende essencialmente da sua integração aos currículos e às actividades desenvolvidas em sala de aula (YAMAMOTO e BARBETA, 2001).

Há mesmo quem diga, com humor CLARK (1983) que "os meios são meros veículos que transportam e entregam a instrução, mas não influenciam os resultados da apendizagem do estudante mais do que o meio de transporte no qual os nossos alimentos chegam ao supermercado causam mudanças na nossa nutrição".

Além destas novas estratégias não serem, com certeza, a grande panaceia que vem resolver de uma vez por todas todos os grandes problemas do ensino, nomeadamente um certo facilitismo, fruto de um ensino massificado, poderão ser mesmo mais um problema a exigir um esforço suplementar dos professsores no sentido de se (re)adaptarem e se necessário (re)adaptarem essas estratégias de ensino. Porém, este esforço não deverá servir de desculpa para que os professores considerem que não vale a pena tentar, deixando de estar abertos à inovação e à mudança.

Qualquer que seja o caminho que se siga vão surgir novas dificuldades. O importante é que todos os intervenientes no processo de ensino-aprendizagem tenham consciência dessas dificuldades e as entendam como novos desafios para procurar as soluções, tendo sempre presente que cada problema que surge no ensino precisa de uma solução concreta que concilie, se possível, os interesses de todos os intervenientes.

Todavia, acreditamos que com qualquer uma destas abordagens, se usadas adequadamente, graças às suas enormes potencialidades, podemos melhorar substancialmente o processo ensino-aprendizagem. Mas para tal é necessário que não se deixe de reconhecer que existem potenciais efeitos negativos, que devem ser isolados e estudados com todo o cuidado.

Antes de nos centrarmos no estudo propriamente dito desta tese convém lembrar que independentemente do tipo de pesquisa e sua dimensão, há sempre limitações nas conclusões e generalizações que dela se podem extrair. A não aleatoriedade e o reduzido número de alunos envolvidos condicionam quaisquer generalizações que dele se possam fazer. Porém, como estudo piloto que se pretendia que fosse, pode dar indícios e indicações válidas sobre o universo (alunos portugueses do 7º ano de escolaridade). Neste sentido, em estudos futuros, recomenda-se uma maior representatividade e uma selecção aleatória dos elementos envolvidos.

No que se refere então à amostra em estudo é de referir que independentemente da estratégia usada os alunos mantiveram-se interessados e motivados, facilitando deste modo a aprendizagem. Apesar do trabalho experimental ou o recurso ao computador poder ter uma função motivacional, como teve para estes 14 alunos, parece-nos irreal/desproporcionado ter-se a expectativa de que todos os alunos sejam motivados pelas mesmas actividades, e ainda que, a motivação seja garantida simplesmente pela execução de um trabalho prático, seja ele de natureza laboratorial ou computacional – cada aluno é um aluno/caso singular –. Além disso, o interesse e satisfação pela realização destas actividades não são proporcionais à sua crescente utilização (PEIXOTO, 1996).

Acreditamos também, que com qualquer uma das metodologias usadas, esta amostra ficou motivada no sentido de se comprometer, quer individualmente quer colectivamente, na resolução dos problemas ambientais actuais, ajudando assim a evitar o surgimento de outros novos problemas. Pois cada vez mais é necessário "Compreender para Agir" de forma consciente.

Ao comparamos as duas metodologias propostas, com uma abordagem mais teórica, constatamos não ser notória grande diferença entre elas, pelo menos nos resultados de curto prazo explicitados nos testes objectivos. Porém, como já referimos, não consideramos de modo algum tal conclusão como uma frustação. Antes como mais um caminho para demonstrar que todas as práticas pedagógicas poderão e deverão ser equivalentemente excelentes ferramentas ao dispor do professor, devendo ser vistas sempre como mais uma estratégia para a aprendizagem, sem que sejam consideradas imprescindíveis. Acresce ainda a convicção de que não obstante a neutralidade objectiva dos resultados quantitativos, os dados qualitativos e a nossa própria intuição nos remetem para uma supremacia de competências e atitudes, de médio-longo prazo, nas metodologias laboratorial/multimédia.

Independentemente das razões que apresentamos anteriormente para esta equivalência surgem-nos agora algumas questões: Será que esta conclusão é apenas válida para este tipo de problemas, para os quais acreditamos existir já alguma motivação intrínseca? Ou será também válida para todo o tipo de conteúdos programáticos? Pela experiência pedagógica que temos, reconhecemos que os alunos declaram interesse pelos temas actuais e com importância social, nomedamente os problemas ambientais. Basta pensarmos que um dos temas muito solicitado na abandonada Área-Escola e na actual Área de Projecto é mesmo o Ambiente. Surge-nos então a dúvida se esta vontade de aprender e efectiva aprendizagem é fruto da motivação intrínseca ou da forma como as abordagens foram planeadas. Assim sendo, teria todo o interesse em futuros estudos alargar esta comparação das diferentes metodologias de abordagem a outras temáticas.

Contudo, é nossa convicção que o sucesso poderia ser ampliado se todos os alunos pudessem usufruir das três metodologias/abordagens.

Propomos para futuras situações em que esta temática seja abordada, quer no âmbito da área curricular não disciplinar, Área de Projecto, quer a nível da disciplina de Ciências Físico-Químicas que, por exemplo, o despertar do interesse para esta problemática seja feito pelo trabalho experimental, a exploração com o desenvolvimento de um trabalho de grupo e a solidificação dos conceitos com o protótipo multimédia. Esta solidificação pode ser conseguida mesmo em casa, uma vez que este software está acessível na Internet.

Outra das mais valias desta acessibilidade, é que aluno pode servir como veículo de comunicação entre a escola e a família, para que um maior número de elementos da comunidade seja sensibilizado para a necessidade de proteger e preservar a camada de ozono.

Pensamos também que nesta actividade conjunta não seria necessário a realização dos três protocolos experimentais, ou fornecer um texto informativo, pois a actividade como um todo permitiria aos alunos atingir os conteúdos pretendidos.

Concluindo, pensamos poder referir que como não se pretende que os alunos façam Ciência, mas que aprendam Ciência, devemos utilizar todos os recursos disponíveis de forma adequada e **equilibrada** para melhorar o processo de ensino, tendo muito claro o que é essencial para promover o gosto pelo saber e pelo conhecimento. Isto porque cada vez mais se pretende que o ensino seja para todos, devendo preocupar-se simultaneamente com questões de literacia, mas também com as bases necessárias ao prosseguimento de estudos. Assim, o desafio que se coloca aos professores é de serem capazes de conciliar um grande dilema. Por um lado, ensinar e tornar acessíveis a todos os conteúdos escolares, e por outro manter níveis de exigência elevados. O caminho não parece ser fácil mas, por isso mesmo, um grande e motivador desafio.

9. Bibliografia

9. Bibliografia

ALMEIDA, Ana Maria F. Guimas de – Educação em Ciência e Trabalho Experimental: Emergência de uma nova concepção. (Re)Pensar o Ensino das Ciências. Ministério da Educação – Departamento do Ensino Secundário, 2001. p. 51- 61.

ARKER, Philip Multi-Media CAL. In *Multi-Media Computer Assisted Learning*. Philip Barker, (Ed.). London: Kogan Page, 1989. p. 13-43.

ASTRO NOTÍCIAS – Há quanto tempo existe água líquida no Sistema Solar?. [consult 2003-05-25]. Disponível em:
http://www.astro.up.pt/nd/astro_news/2002/0124pt.html

BEAUFILS, Alain. (1991) – Initiation à la construction d' hypermédias par des élèves de collège. In Brigitte de La Passardière et Georges-Louis Baron (Eds.). *Actes des premières journées scintifiques Hypermédias et Apprentissages, Châtenay-Malabry, 24-25 septembre 1991*, Paris: Editions de MASI et de l' INRP. p. 133-148.

BÖTTINGER , M. ; BIERCAMP, J. – Stratospheric Ozone and Climate Modeling. [consult 2003-05-23]. Disponível em : http://www.dkrz.de/dkrz/visu/projects/ozone.html

BOYES, E.; STANISSTREET, M. – The 'Greenhouse Effect'; children's perceptions of causes, consequences and cures. **International Journal of Science Education** 15 (1993) 531-552.

BOYES, E.; STANISSTREET, M. – Children's models of understanding of two major global environmental issues (Ozone Layer and Greenhouse Effect). **Research in Science and Technological Education** 15 (1997) 19-28.

BOYES, E; STANISSTREET, M.; SPILIOTOPOULOU, V. – The ideas of Greek high school students about the 'Ozone Layer'. **Science Education** 83 (1999) 724-737.

BROWN, A. – Simulated classrooms and artificial students: The potencial effects of new technologies on teacher education. **Journal of Research on Computing in Education**, vol. 32, no 2, (1999) 307 - 318.

CAMACHO, Maria de Lurdes Andrade Silva Morais – Realidade Virtual e Educação. Universidade Aberta. [consult 2003-01-05]. Disponível em:
http://phoenix.sce.fct.unl.pt/simposio/30.htm

CARDOSO, Jaime Alberto dos Santos – Simulações computacionais no ensino/aprendizagem da Física: estudo de caso para o 12º ano de escolaridade. Aveiro: [s. n.] 1998.

CARDOSO, Silvia Helena – Utilizando simulações no ensino médico. Informática Médica. Volume 1 número 4- Jul/Ago 1998. [consult 2003-01-05]. Disponível em:
http://www.epub.org.br/informaticamedica/n0104/cardoso.htm

CARQUEJA, Paula Maria Cunha Figueiras dos Rei de Oliveira – Brincar com a ciência no jardim de infância – Experiências concretas em ambiente virtual. Porto: [s. n.] 2002.

CHAVES, Eduardo – O que é um software Educacional – [consult 2003-01-05]. Disponível em : http://www.edutec.net/Textos/Self/EDTECH/softedu.htm

CHRISTIDOU, I. – An exploration of children's models and their use cognitive strategies in regard to the greenhouse effect and the ozone layer depletion. Paper presented at the 2nd European School – **Research in Science Education**, Leptocania, Greece (1994).

CLARK, R. E. – Reconsidering research on learning from media, **Review of Education Research**, vol. 53, no 4, (1983) 445-459.

CONCEITOS FUNDAMENTAIS EM JOGO NA AVALIAÇÃO DE LITERACIA CIENTÍFICA E COMPETÊNCIAS DE ALUNOS PORTUGUESES, PISA 2000. [consult 2003-12-28]. Disponível em :
http://www.gave.pt/pisa/conceitos_literacia_científica.pdf

COHEN, L. ; MANION L. – Research method in education, New York, Routledge, 1994. p. 164- 183.

COLINVAUX, Dominique – Aprender...no museu? Travessias em direcção do conhecimento. [consult 2002-10-12]. Disponível em:
http://www.icom.org.br/CECA/bc021c.htm

COLLEGE OF AGRICULTURAL & ENVIRONMENTAL SCIENCES – Public Service & Outreach. [consult 2003-05-25]. Disponível em :
http://caes.ucdavis.edu/public/default.htm

COSCARELLI, Carla Viana – O Uso da informática como instrumento de ensino aprendizagem. [consult 2003-01-05]. Disponível em:
http://bbs.metalink.com.br/~lcoscarelli/PrespedMM.doc

COTTON, N.B.; OLIVER, R. – Understanding Hypermedia, Phaidon, 1999. p 56-94.

COUTAZ, Joelle – Interfaces homme – ordinateur. Conception et réalisation, Paris: DUNOD Informatique, 1990.

COUTINHO, Francisco A. – A História da Vida. [consult 2003-05-25]. Disponível em: http://www.icb.ufmg.br/~lbem/aulas/grad/evol/especies/vidaprebiotica.html

COX, M. J. – The computer in the science curriculum. **International Journal of Educational Research**, vol. 17, no 1, (1992) 19 - 35.

DANTAS, Margarida – Vamos Inovar?... – Tecnologias e educação. [consult 2003-01-05]. Disponível em:
http://www.terravista.pt/guincho/3148/AutoresPontos%20de%20vista.htm#Tecnologia

DOROUGH, D.; RUBBA, P.; RYE, J. A. (1995) Fifth and sixth grade students' explanations of global warning and ozone: conceptions formed prior to classroom instruction. Paper presented at the National Association of Research in Science Teaching Annual Meeting, San Francisco.

EIVAZIAN, Ana Maria Batista – O ensino de ciências usando simulações. Acesso revista de educação e informática. Ano 5 – número 11- Janeiro 9. [consult 2003-01-05]. Disponível em: http://www.educacao.sp.gov.br/publicacoes/acesso/acs11p04.htm

ENVIRONMENT CANADA - The Ozone Layer - What's going on up there?. [consult 2003-05-23]. Disponível em :
http://www.ec.gc.ca/ozone/DOCS/KIDZONE/EN/ozoneupthere.cfm

EST – Ambiente Global. Camada de Ozono. [consult 2002-05-19]. Disponível em: http://www.geocities.com/RainForest/Canopy/9399/Ambiente_Global/ozone.html

FACES IN THE MOLLECULAR SCIENCES – FACES IN THE ENVIRONMENT – Making and Destroying Ozone. [consult 2003-05-23]. Disponível em : http://www.chemheritage.org/EducationalServices/faces/env/readings/o3end.htm

FELDMAN, Barbara J. – Surfing the Net with kids. [consult 2003-05-23]. Disponível em : http://www.surfnetkids.com/games/sunscreen-ws.htm

FIGUEIREDO, A. Dias de – O Futuro da Educação perante as Novas Tecnologias. [consult 2003-01-05]. Disponível em: http://eden.dei.uc.pt/~adf/Forest95.htm

FREITAS, Cândido Varela [et al] – Tecnologias de Informação e Comunicação na Aprendizagem, Lisboa, Instituto de Inovação Educacional, 1997. p. 11 – 44.

FREITAS, Mário Jorge Cardoso Coelho – Concepções Científicas Alternativas de Crianças Portuguesas acerca da vida, da morte e decomposição dos seres vivos. Minho: [s. n.] 1987.

GATTI, Bemardete A. – Questões sobre o Uso do Computador como Auxiliar no Ensino. Revista Acesso nº2 – Jul/Dez 1998 – SP- FDE. [consult 2003-01-05]. Disponível em: http://www.elton.com.br/comtecedu/Infoedu%20-%20Questoes%20-%20Gatti.doc

GHIGLIONE, Rodolphe ; MATALON, Benjamin – O Inquérito - Teoria e Prática, Oeiras, Celta, segunda edição, 1993, p.115- 133.

GLASS, G. V. ; HOPKINS, K. D – Statistical methods im education and psychology, Boston, Allyn and Bacon, 1984.

GLOBAL CHANGE COURSE - 1-8: Man-made chemicals, CFCs. [consult 2003-05-25]. Disponível em:
http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/chem/ozone/manmade/images/images.html

GUIMARÃES, Rui Campos ; CABRAL, José A. Sarsfiel – Estatística – Edição Revista, Amadora, Editora McGraw-Hill de Portugal, L.da, 1997. p. 427- 436.

HILL, Manuela Magalhães; HILL, Andrew – Investigação por questionário, Lisboa, Edições Sílabo, 2000, p. 83- 104.

INSTITUTO DE METEOROLOGIA PORTUGAL – A camada de Ozono em Portugal [consult 2003-05-23]. Disponível em : http://www.meteo.pt/uv/DiaDoOzono/dia_o3.html

JARDIM, Wilson F. – Química & Meio Ambiente. A Evolução da atmosfera terrestre. [consult 2003-04-17]. Disponível em :
http://cienciaquimica.hpg.ig.com.br/meioambiente/evolucaoatmosfera.htm

JÚNIOR, José Pereira da Silva – Importância das Concepções alternativas no Ensino/Aprendizagem das Ciências da Natureza. Um Estudo sobre a fotossíntese, com alunos de Angola. Aveiro: [s. n.] 1998.

KAHN, Paul [*et al.*] (1990) – Design of Hypermedia Publications: Issues and Solutions. In Richard Furuta (Ed.). Proceedings of the International Conference on Electronic Publishing, Document Manipulation, and Typography (EP90), Cambridge: Cambridge University Press. p. 107-124.

KANDEL, Robert – A evolução dos Climas, Lisboa, Terra Mar, 1990. p. 61-75 e 121-133.

KHALID, Tahsin – The study of Pré-service Teachersi Alternative Conceptions Regarding three Ecological Issues. [consult 2002-09-16]. Disponível em: http://www.educ.sfu.ca/narstsite/conference/khalid/khalid.html

KOULAIDIS, Vasilis; CHRISTIDOU, Vasilia – Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. **Science Education** 83, no 5, (1999) 559-576.

LACERDA, Teresa – Concepção de Interfaces para documentos educativos hipermedia. [consult 2003-02-02]. Disponível em :
http://phoenix.sce.fct.unl.pt/simposio/07.htm

LEE, John David – Química inorgânica: um texto conciso, São Paulo, Edgard Blücher, 1980. p. 463 -483.

LEITE, Laurinda Sousa Ferreira – Concepções alternativas em mecânica – um contributo parar a compreensão de seu conteúdo e persistência. Aveiro: [s. n.] 1993.

LIBARKIN, J. C.; CROCKETT, C. D. – Invisible Misconceptions: student understanding of ultraviolet and infrared radiation. [consult 2002-09-13]. Disponível em: http://gsa.confex.com/gsa/2001AM/finalprogram/abstract_26065.htm

LOPES, José Manuel Gonçalves – Mapas Supervisão do trabalho experimental no 3º ciclo do ensino básico: um modelo inovador. Aveiro: [s. n.] 1994.

MACHADO, Fernando Augusto – Avaliação em tempo de mudança – Cadernos pedagógicos, Porto, Edições ASA, 1994. p. 52- 53.

MARQUES, Luís Miguel Aires – Formação Contínua de Professores: Bases para o Ensino Laboratorial da Biologia. Lisboa: [s. n.] 2002.

MARTIN, James (1990) – Hyperdocuments and how to create them, New Jersey, Prentice Hall. (tr. brasileira de Marcelo Bernstein - Hiperdocumentos e como criá-los, Rio de Janeiro, Editora Campus, 1992).

MARTINS, Isabel P.; VEIGA, Maria Luísa – Uma análise do currículo da escolaridade básica na perspectiva da educação em ciências, Lisboa, Instituto de Inovação Educacional, 1999. [consult 2002-09-16]. Disponível em: http://www.iie.min-edu.pt/edicoes/livros/cdceb/cdceb09.htm

MARTINS, Janae Gonçalves [*et al.*] – Realidade Virtual através de ligos na educação. [consult 2003-01-05]. Disponível em: http://www.intercom.org.br/papers/xxii-ci/gt13/13m02.PDF

MEDEIROS, Alexandre ; MEDEIROS, Cleide Farias de – Possibilidades e Limatações das Simulações computacionais no Ensino da Física Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, no. 2, Junho, 2002. [consult 2003-01-05]. Disponível em: http://sbf.if.usp.br/rbef/Vol24/Num2/v24_77.pdf

MIRO-JULA, J. – Dangers of the Paradigm Shift. Draft Article. Departament de Matemàtiques ;Informàtica. Universitat de Illes Balears. [consult 2003-01-05] Disponível em : http://dmi.uib.es/people/joe/opinion/ParShfDgr.html

MOLECULARIUM – Galeria de imagens estereoscópicas de moléculas. [consult 2003-05-23]. Disponível em : http://www.molecularium.net/stereo/ index.html

MONTEIRO, Angélica Maria Reis – Prof. & Ciências A Utilização de Páginas da Internet no Ensino das Ciências no 1º Ciclo do Ensino Básico. Porto: [s. n.] 2002.

NATURALEZA EDUCATIVA – Ecología antártica El ozono: Teoría, destrucción, consecuencias. [consult 2003-05-25]. Disponível em: http://www.iespana.es/natureduca/ant_eco_ozonoteoria.htm

NOBEL e-MUSEUM - The Nobel Prize in Chemistry 1995. [consult 2003-05-25]. Disponível em: http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1995/index.html

PAIVA, Jacinta – As Tecnologias de Informação e Comunicação: Utilização pelos professores (dados relativos a 2001 / 2002). [consult 2003-01-05]. Disponível em: http://nautilus.fis.uc.pt/cec/estudo/

PAIVA, João Carlos de Matos – Ensino do Equilíbrio químico. Subtilezas e Simulações computacionais. Aveiro: [s. n.] 2000. [consult 2002-09-13]. Disponível em: http://nautilus.fis.uc.pt/personal/jcpaiva/td/index.html

PAIS, Ana ; MONTEIRO, Manuela – Avaliação – Uma prática diária, Lisboa, Editorial Presença, 1996. p. 43-65.

PEIXOTO, Ana Maria Coelho de Almeida – Integração do Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados no Trabalho Experimental e na Formação de professores de Ciências. Aveiro: [s. n.] 1996.

PEREIRA, Duarte Costa; CORREIA, Maria Rui de Vilar – Introdução às novas tecnologias da informação no ensino da biologia. **Inovação – Lisboa: Ministério da educação**, vol. 2 nº 3 (1989) 303-315.

PLUNKETT, S.; SKAMP, K. – The ozone layer and hole: children's conceptions. Paper presented at the Australasian Science Education Research Association Conference, Hobart, Tasmânia (July, 1994).

PONTE, João – O Computador: um instrumento de educação, 3º edição, Lisboa, Texto Editora, 1998. p. 5 - 24, 55 - 89 e 121 – 133.

POTTS, A.; STANISSTREET M.; BOYES, E. – Children's ideas about the Ozone Layer and opportunities for physics teaching. **School Science Review** 78 (1996) 57-62.

POZO, J. – Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de dónde vienen, a dónd van... y mientas tanto qué hacemos con ellas. Alambique, 7, 1996. p. 18-26.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A. – Concepções Epistemológicas dos professores portugueses sobre o trabalho experimental. **Revista Portuguesa de Educação** 11 (1998) 71-85.

PRESS, Frank; SIEVER, Raymond – Understanding Earth, third edition, New York, W. H. Freeman and Company, 2001. p. 1-11.

RANBY, B.; RABEK, J. F. – Singlet Oxygen reactions with organic compounds and polymers, Chichester [etc.], John Wiley & Sons, 1976. p. 1-3.

RAYNER-CANHAM, Geoff; OVERTON, Tina – Descriptive Inorganic Chemistry, New York, W. H. Freeman and company, 2002. p. 370- 372.

REIS, Maria Carlos – A Camada de Ozono. [consult 2002-02-19]. Disponível em : http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=2166&iLingua=1

RIBEIRO, Gabriela T. C. – A study of the nature and everyday basis of undergraduates´ thermodynamic ideas about some chemical reactions. England: [s. n.] 1990.

ROQUE, João Alberto Fernandes – Concepções alternativas sobre a função respiratória em alunos do 8º ano. Aveiro: [s. n.] 1999.

RUSSELL, J. W. [*et al.*] – Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. **Journal of Chemical Education**, vol. 74, no 3, (1997) 330 - 334.

RYE, James A. – An Investigation of middle school students' alternative conceptions of global warning. **Journal of Science Education**, vol. 19, no 5, (1997) 527-551.

SALGUEIRO, Manuel Eduardo Fernandes – Simulações on-line para o Ensino e aprendizagem da química. Porto: [s. n.] 2003. [consult 2003-02-02]. Disponível em : http://nautilus.fis.uc.pt/cec/salgueiro/

SAMPLES TASKS FROM THE PISA 2000 ASSESSMENT OF READING, MATHEMATICAL AND SCIENTIFIC LITERACY, Paris: OECD (2002).

SANTOS, Filipe Duarte – O Ozono sobre a Antártida. **Gazeta de Física**, vol. 13, Fasc.3, (1990) 141-148.

SANTOS, Maria Moniz dos – Percurso de mudança na didáctica das Ciências: sua fundamentação epistemológica; As concepções alternativas dos alunos à luz da epistemologia bachelardina, Lisboa, Livros Horizonte, 1992. p. 11-55.

SANTOS, Maria Eduarda Vaz Moniz – Mudança Conceptual na Sala de aula: Um desafio pedagógico, Lisboa, Livros Horizonte, 1995. p. 53-127.

SCHLESINGER, William H. – Biogeochemistry – an analysis of Global Change, second edition, San Diego, Academic Press, 1997. p. 15-87.

SEINFELD, John H.; PANDIS, Spyros N. – Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1998. p. 1- 49 and 163-203.

SHNEIDERMAN, Bem – Designing The User Interface. Sfor Effective Human – Computer Interaction, 2° ed. Reading: Addison – Wesley Publishing Company, 1992.

SILVA, Amparo Dias [*et al.*] – Terra, Universo de Vida – Ciências da Terra e da Vida – 10° ano, Porto, Porto Editora, 1997. p. 127-139.

SILVA, Isabel Maria Cruz Porfírio – O trabalho laboratorial em Biologia no Ensino Secundário das propostas curriculares às expectativas dos alunos. Aveiro: [s. n.] 1999.

SILVA, Leonardo Cunha – Computador na Prática Pedagógica, com realce para a educação especial- Instituto Politécnico do Porto. Escola Superior de Educação. Curso de Estudos Superiores Especializados em Educação Especial. [consult 2003-01-25]. Disponível em : http://www.lerparaver.com/amigos/leonardo_dissertação.hdml

SOFT CIÊNCIAS – Tabela Periódica v2.5. [consult 2003-05-23]. Disponível em : http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/index-pt.html

TOMADELA, Matondo – Mapas de conceitos e Trabalho experimental como Actividades da Aprendizagem significativa da Química. Minho: [s. n.] 1998.

TREINISH , Lloyd A. -Lloyd Treinish's home page. [consult 2003-05-23]. Disponível em : http://www.research.ibm.com/people/l/lloydt/atwt

VANLOON, Gary W; DUFFY, Stephen J. – Environmental Chemistry- a global perspective, Oxford, University Press, 2000. p. 42-63.

WEINER, Jonathan – Os próximos cem anos, Lisboa, Gradiva, 1991. p. 181-215.

YAGER, Tom - Information´s Human Dimension : Multimedia technologies can improve presentations today, Byte, 1991. p. 153-160.

YAMAMOTO, Issao ; BARBETA, Vagner Bernal – Simulações de Experiências como Ferramenta de Demonstração Virtual em aulas de Teoria de Física. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 23, no. 2, Junho, 2001. [consult 2003-01-05]. Disponível em: http://sbf.if.usp.br/rbef/Vol23/Num2/v23_215.pdf

YEARLEY, Steven – A Causa verde: Uma Sociologia das questões ecológicas, Oeiras, Celta Editora, 1992. p. 11-17.

10. Anexos

Anexo 1

Fotografias das três experiências realizadas para investigar a protecção da radiação ultravioleta provida por diferentes sistemas

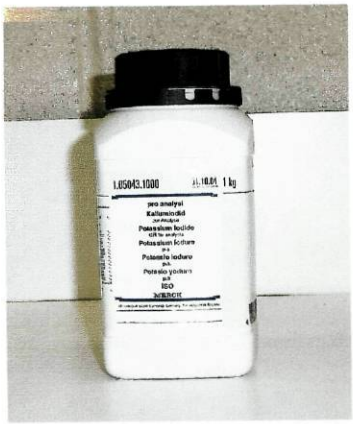


Fig. 1- Iodeto de potássio



Fig. 2- Revestimento dos gobelés com papel de alumínio

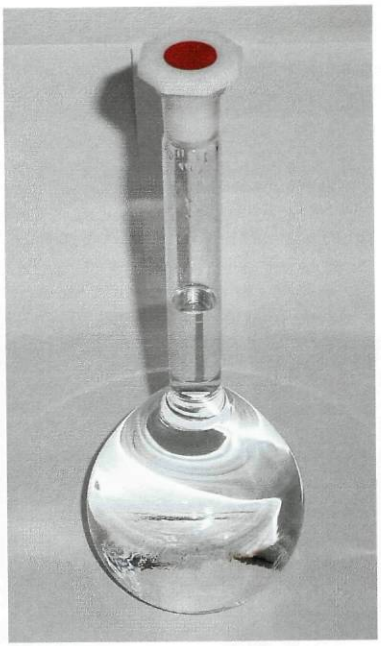


Fig. 3- Solução aquosa de iodeto de potássio

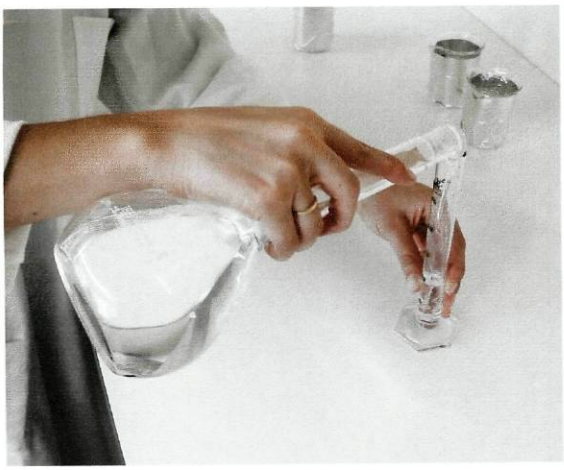


Fig. 4- Medição de 25 mL da solução



Fig. 5- Transferência da solução para o gobelé

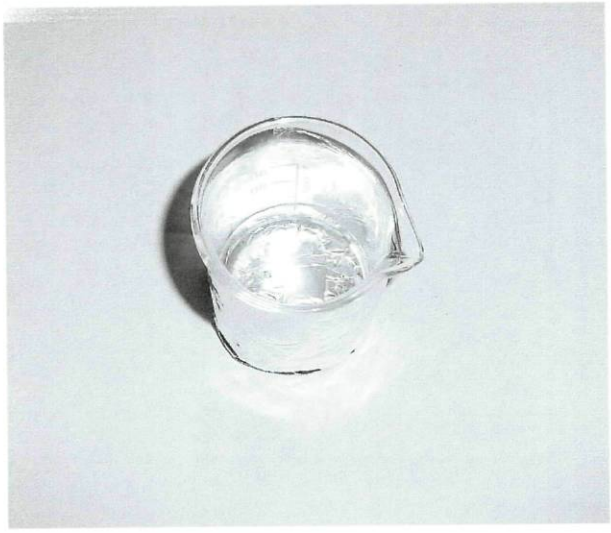


Fig. 6- Solução aquosa de iodeto de potássio (incolor)

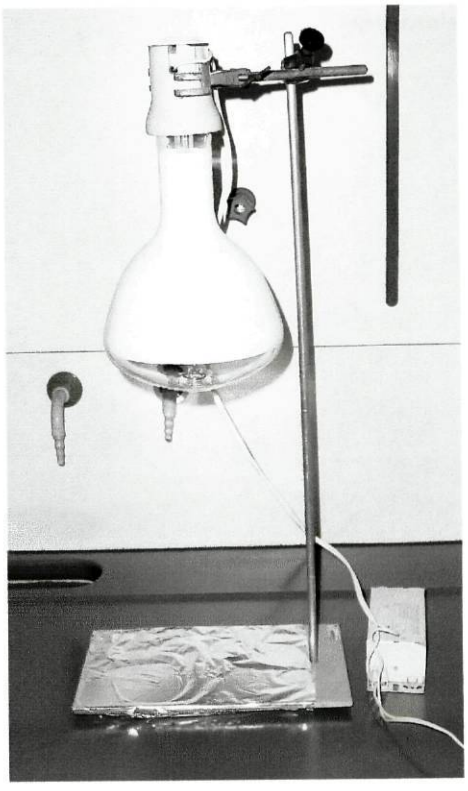


Fig. 7- Lâmpada de mercúrio



Fig. 8-Espectrofotómetro UNICAM, Hελios γ

Protecção à radiação ultravioleta provida por:

- Material sintético de Perspex®

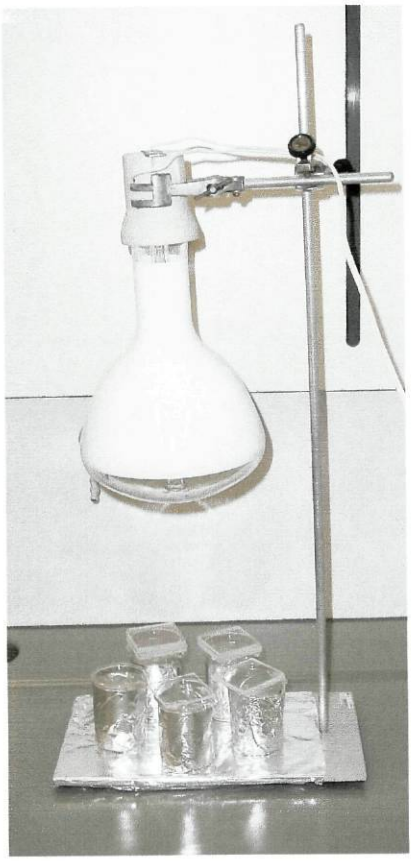


Fig. 9- Exposição das soluções à radiação ultravioleta usando como protecção diferentes espessuras do material sintético de Perspex®



Fig. 10- Graduação em relação à intensidade de amarelo após a exposição à radiação ultravioleta, quando se usou como protecção diferentes espessuras do material sintético de Perspex®

- Protectores solares



Fig. 11- Protectores solares com diferentes IPS

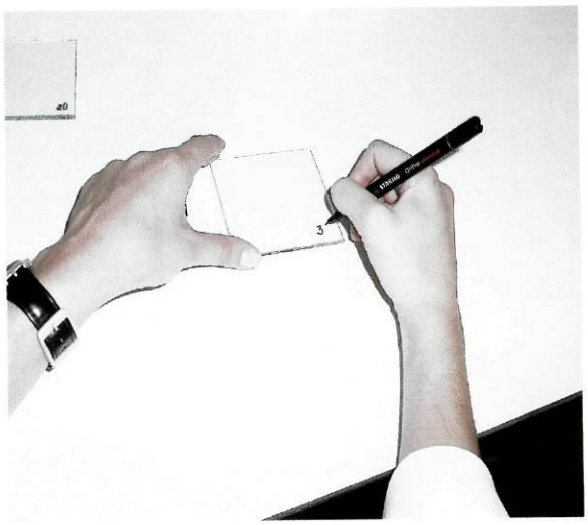


Fig. 12- Identificação na placa de vidro do IPS do protector solar usado





Fig. 13 e 14- Colocação do protector solar na placa de vidro

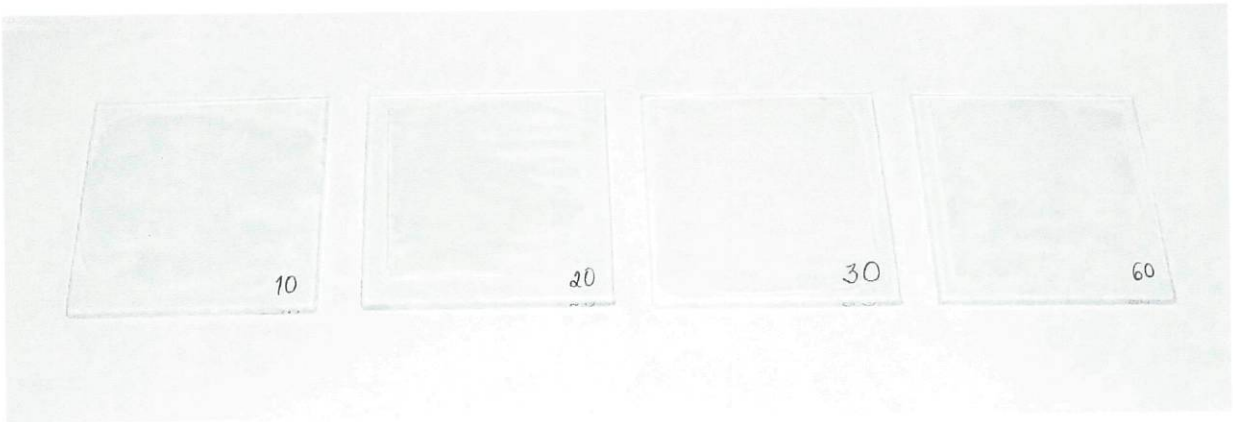


Fig. 15- Protectores solares com diferentes IPS sobre as placas de vidro



Fig. 16- Exposição das soluções à radiação ultravioleta usando como protecção protectores solares com diferentes IPS

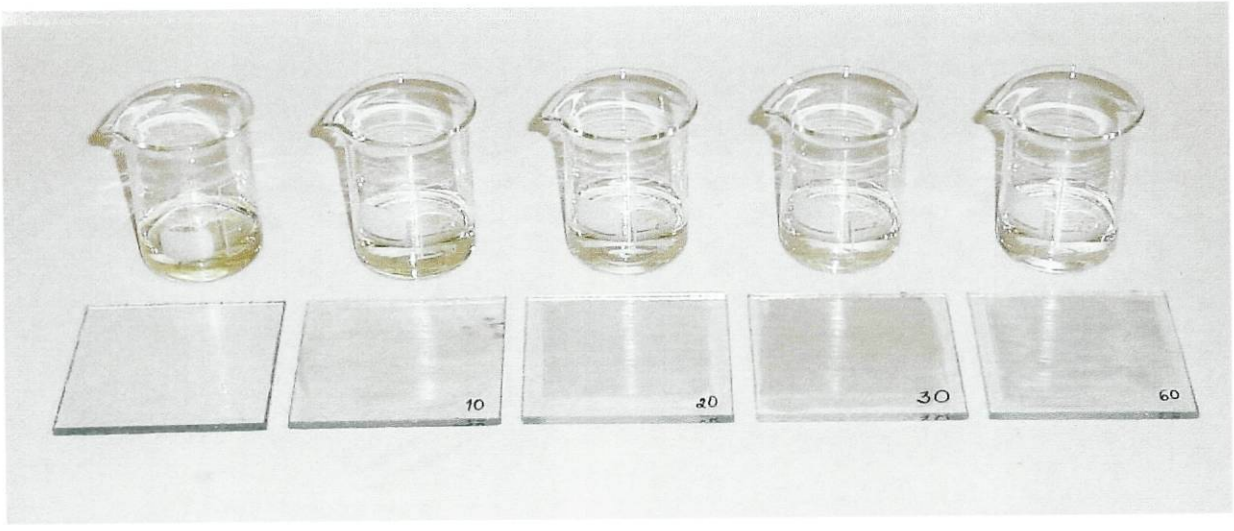


Fig. 17- Graduação em relação à intensidade de amarelo após a exposição à radiação ultravioleta, quando se usou com protecção protectores solares com diferentes IPS

- Tecidos de algodão de diferentes cores.



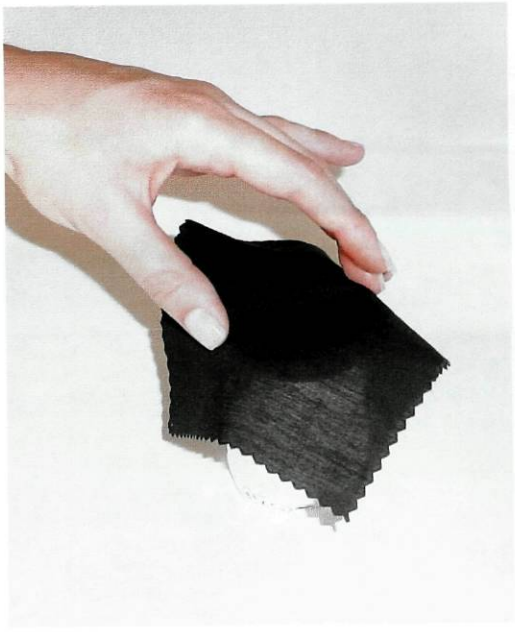




Fig. 18, 19 e 20- Protecção das soluções com os tecidos do mesmo material mas de diferentes cores



Fig. 21- Exposição das soluções à radiação ultravioleta usando como protecção tecidos do mesmo material mas de diferentes cores

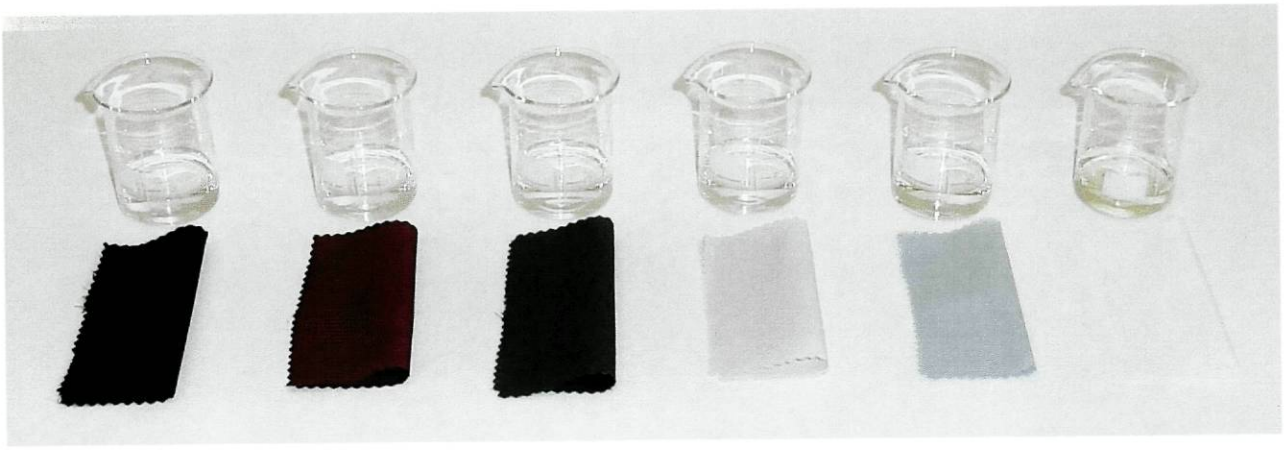


Fig. 22- Graduação em relação à intensidade de amarelo após a exposição à radiação ultravioleta, quando se usou como protecção tecidos do mesmo material mas de diferentes cores

Anexo 2

Protocolos experimentais para o 7º ano

PROTOCOLO EXPERIMENTAL 1



Será que a espessura da camada de ozono influencia a quantidade de radiação ultravioleta que atinge a Terra?

Objectivos:

- Adquirir consciência dos perigos a que estamos sujeitos com a exposição à radiação ultravioleta;

- Demonstrar a utilidade da camada de ozono, simulada com placas de Perspex® (polimetacrilado de metilo).

Introdução: A atmosfera, é uma mistura gasosa que envolve o globo terrestre, com uma espessura superior a 1000 km. É caracterizada por variações de temperatura e pressão com a altitude. Na realidade, as variações de temperatura média com a altitude estão na base da distinção das diferentes camadas da atmosfera, com diferentes composições em: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera.

Por agora, vamo-nos centrar numa região particular da atmosfera, que se situa entre aproximadamente os 10 km e os 50 km: a **Estratosfera**.

Nesta região da atmosfera, acumula-se um gás constituído por três átomos de oxigénio (O), o ozono (O_3), numa camada com cerca de 15 km de espessura, designada por "camada de ozono".

A camada de ozono pode ser considerada como uma membrana invisível entre a Terra e o Sol. Esta tem a capacidade de absorver da luz emitida pelo Sol a radiação ultravioleta que, quando atinge a Terra em quantidade excessiva, pode causar muitos problemas, incluindo problemas de saúde humana.

Material: 5 Gobelés de 100 mL

10 Placas de Perspex® com 3 mm de espessura

Papel de alumínio

Etiquetas autocolantes

Lâmpada de ultravioleta

Reagentes: Solução aquosa de iodeto de potássio 167g/L

Execução experimental:

1- Regista a cor da solução fornecida

Solução	Cor da solução
Iodeto de potássio	

2- Marca com uma etiqueta autocolante os gobelés com os números 0, 1, 2, 3 e 4

3- Envolve-os exteriormente com papel de alumínio

4- Coloca em cada um dos gobelés 25mL da solução aquosa de iodeto de potássio

5- Coloca todos os gobelés debaixo da lâmpada ultravioleta

6- Sobre o gobelé marcado com o 0 não coloques nenhuma placa de Perspex®, sobre gobelé marcado com o 1 coloque uma placa de Perspex® e assim sucessivamente

7- Liga a lâmpada durante uma hora

CUIDADO: O local da experiência deve ser "isolado" para que não tenhas contacto com a radiação emitida pela lâmpada

8- Após desligar a lâmpada, retira as placas de Perspex® e o papel alumínio que envolve os gobelés

9- Observa e regista a cor da solução

Gobelé	Espessura de Perspex®	Cor da solução

10- Ordena as soluções atendendo à intensidade da cor obtida

Cor da solução	Espessura de Perspex®

PS: Para registar a cor podes usar uma escala de amarelado de 1 a 5: 1 (muito amarelo) a 5 (pouco amarelo)

Fotografia da montagem experimental:



Conclusão:

" Quando se aumenta a espessura do Perspex® sobre a solução, a intensidade da cor da solução _____*".*

Relaciona esta conclusão com o que acontece na atmosfera com a variação da espessura da camada de ozono.

PROTOCOLO EXPERIMENTAL 2



Serão os protectores solares úteis para nos proteger da radiação ultravioleta emitida pelo Sol?

Objectivo:

- Demonstrar a utilidade dos protectores solares;
- Verificar a influência do índice de protecção solar (IPS) de um creme solar na protecção da radiação ultravioleta

Introdução: Nos últimos anos, com a diminuição da espessura da camada de ozono, temos estado expostos a maior quantidade de radiação ultravioleta emitida pelo sol. Esta exposição tem estado ligada a muitos problemas de saúde humana. Esta radiação é a principal causa de ocorrência de cancros de pele e tem ainda a capacidade de enfraquecer o sistema imunológico, o que ajuda os cancros não só a estabelecerem-se, mas também a crescerem rapidamente.

A radiação ultravioleta é também a principal causa da formação de cataratas (opacidade do cristalino dos olhos), provocando a cegueira a pelo menos 12 milhões de pessoas no mundo e a diminuição da visão a outros 18 milhões.

Mas não é só o Homem que é afectado com o acréscimo da radiação ultravioleta. A maior parte das espécies é directa ou indirectamente afectada. O crescimento das plantas terrestres reduz-se e o plâncton, que constitui a bases das cadeias alimentares em rios e oceanos, é parcialmente destruído, com a intensificação desta radiação. Consequentemente, também a base da nossa alimentação fica posta em causa.

Como tentativa para diminuir os efeitos indesejáveis desta radiação na saúde humana, nomeadamente nos cancros de pele, têm sido desenvolvidos protectores solares, com diferentes IPS (índice de protecção solar) ou SPF (sun protection factor), ou seja, com diferentes capacidades para proteger a pele da agressão da radiação ultravioleta.

Material: 5 Gobelés de 100 mL

Protectores solares com diferentes índices de protecção solar (10, 20, 30, 60)

5 Placas de vidro

Papel de alumínio

Etiquetas autocolantes

Lâmpada de ultravioleta

Reagentes: Solução aquosa de iodeto de potássio 167g/L

Execução experimental:

1- Regista a cor da solução fornecida

Solução	Cor da solução
Iodeto de potássio	

2- Marca com uma etiqueta autocolante os gobelés com os números 0, 10, 20, 30 e 60

3- Envolve-os exteriormente com papel de alumínio

4- Coloca em cada um dos gobelés 25mL da solução aquosa de iodeto de potássio

5- Coloca todos os gobelés debaixo da lâmpada ultravioleta

6- Marca com uma etiqueta autocolante cada uma das placas de vidro com os números 0, 10, 20, 30 e 60

7- Coloca a mesma quantidade de cada um dos protectores em cada um dos vidros, fazendo corresponder o número marcado na placa com o índice de protecção

8- Espalha uniformemente o protector solar no vidro

9- Sobre o gobelé marcado com o 0 coloca a placa de vidro marcada com o zero, sobre gobelé marcado com o 10 coloca a placa de vidro marcada com o 10 e assim sucessivamente

10- Liga a lâmpada durante uma hora

CUIDADO: O local da experiência deve ser "isolado" para que não tenhas contacto com a radiação emitida pela lâmpada

11- Após desligar a lâmpada, retira as placas de vidro e o papel alumínio que envolve os gobelés

12- Observa e regista a cor da solução

Índice de protecção	**Cor da solução**

13- Ordena as soluções atendendo à intensidade da cor obtida

Cor	**Índice de protecção**

PS: Para registar a cor podes usar uma escala de amarelado de 1 a 5: 1 (muito amarelo) a 5 (pouco amarelo)

Fotografia da montagem experimental:



Conclusão:

" Quando se aumenta o índice de protecção, a intensidade da cor da solução _____ ".

Relaciona esta conclusão com o que acontece quando se usam protectores solares com diferentes índices de protecção.

PROTOCOLO EXPERIMENTAL 3



Terá a cor dos tecidos influencia na protecção da radiação ultravioleta emitida pelo Sol?

Objectivo:

- Demonstrar a influência da cor dos tecidos como meio de protecção para a radiação ultravioleta emitida pelo Sol.

Introdução: Como tentativa para diminuir os efeitos indesejáveis da radiação ultravioleta, além de ser necessário usar um protector solar, devemos também escolher a cor adequada para as roupas e para os chapéus-de-sol. Isto porque, as cores escuras e as cores claras protegem de forma diferente a pele das agressões da radiação ultravioleta.

Material: 6 Gobelés de 100 mL

6 Tecidos do mesmo material mas de diferentes cores

6 Elásticos

Papel de alumínio

Etiquetas autocolantes

Lâmpada de ultravioleta

Reagentes: Solução aquosa de iodeto de potássio 167g/L

Execução experimental:

1- Regista a cor da solução fornecida

Solução	Cor da solução
Iodeto de potássio	

2- Marca com uma etiqueta autocolante os gobelés com as cores dos tecidos que vais usar

3- Envolve-os exteriormente com papel de alumínio

4- Coloca em cada um dos gobelés 25mL da solução aquosa de iodeto de potássio

5- Tapa a parte superior dos gobelés com os tecidos, fazendo a correspondência correcta

6- Para que os panos não caiam prende-os com um elástico

7- Coloca todos os gobelés debaixo da lâmpada ultravioleta

8- Liga a lâmpada durante uma hora

CUIDADO: O local da experiência deve ser "isolado" para que não tenhas contacto com a radiação emitida pela lâmpada

9- Após desligar a lâmpada, retira os elásticos, o tecido e o papel alumínio que envolve os gobelés

10- Observa e regista a cor da solução

Cor do tecido	Cor da solução

11- Ordena as soluções atendendo à intensidade da cor obtida

Cor da solução	Cor do tecido

PS: Para registar a cor podes usar uma escala de amarelado de 1 a 6: 1 (muito amarelo) a 6 (pouco amarelo)

Fotografia da montagem experimental:



Conclusão:

" Quanto mais escura a cor do tecido que se coloca sobre a solução, _____ é intensidade da cor da solução".

Relaciona esta conclusão com o que acontece à nossa pele quando no Verão nos vestimos de diferentes cores.

Anexo 3

Versão dos protocolos experimentais para o 10º ano

(apenas a execução experimental)

PROTOCOLO EXPERIMENTAL 1

Execução experimental:

1- Regista a cor da solução fornecida

Solução	Cor da solução
Iodeto de potássio	

2- Envolve exteriormente os gobelés com papel alumínio

3- Coloca em cada um dos gobelés 25mL da solução aquosa de iodeto de potássio

4- Coloca todos os gobelés debaixo da lâmpada ultravioleta

5- Sabendo que as placas de Perspex® simulam a camada de ozono, verifica o que acontece quando diferentes espessuras deste material protegem a solução da radiação ultravioleta

6- Expõe as soluções à radiação UV, durante uma hora

CUIDADO: O local da experiência deve ser "isolado" para que não tenhas contacto com a radiação emitida pela lâmpada

7- Após desligar a lâmpada, retira as placas de Perspex® e o papel alumínio que envolve os gobelés

8- Observa e registe a cor da solução

Espessura de Perspex®	Cor da solução

PS: Para registar a cor podes usar uma escala de amarelado de 1 a 5: 1 (muito amarelo) a 5 (pouco amarelo)

PROTOCOLO EXPERIMENTAL 2

Execução experimental:

1- Regista a cor da solução fornecida

Solução	Cor da solução
Iodeto de potássio	

2- Envolve-os exteriormente os gobelés com papel alumínio

3- Coloca em cada um dos gobelés 25mL da solução aquosa de iodeto de potássio

4- Coloca todos os gobelés debaixo da lâmpada ultravioleta

5- Utilizando as placas de vidro como suporte para o protector solar, coloca a mesma quantidade de cada um dos protectores em cada um dos vidros respectivamente

6- Espalha uniformemente o protector solar no vidro

7- Verifica o que acontece quando diferentes protectores protegem a solução da radiação ultravioleta, durante uma exposição de uma hora

CUIDADO: O local da experiência deve ser "isolado" para que não tenhas contacto com a radiação emitida pela lâmpada

8- Após desligar a lâmpada, retira as placas de vidro e o papel alumínio que envolve os gobelés

9- Observa e regista a cor da solução

Índice de protecção	Cor da solução

PS: Para registar a cor podes usar uma escala de amarelado de 1 a 5: 1 (muito amarelo) a 5 (pouco amarelo)

PROTOCOLO EXPERIMENTAL 3

Execução experimental:

1- Regista a cor da solução fornecida

Solução	Cor da solução
Iodeto de potássio	

2- Envolve exteriormente os gobelés com papel alumínio

3- Coloca em cada um dos gobelés 25mL da solução aquosa de iodeto de potássio

4- Verifica o que acontece quando diferentes cores de tecido do mesmo material protegem a solução da radiação ultravioleta

5- Para que os panos não caiam prende-os com um elástico

6- Expõe as soluções à radiação UV, durante uma hora

CUIDADO: O local da experiência deve ser "isolado" para que não tenhas contacto com a radiação emitida pela lâmpada

7- Após desligar a lâmpada, retira os elásticos, o tecido e o papel alumínio que envolve os gobelés

8- Observa e registe a cor da solução

Cor da solução	Cor do tecido

PS: Para registar a cor podes usar uma escala de amarelado de 1 a 6: 1 (muito amarelo) a 6 (pouco amarelo)

Anexo 4

Texto fornecido aos alunos sobre a problemática em estudo

O "Buraco na Camada de Ozono"

A atmosfera, é uma mistura gasosa que envolve o globo terrestre, com uma espessura superior a 1000 km. É caracterizada por variações de temperatura e pressão com a altitude. Na realidade, as variações de temperatura média com a altitude estão na base da distinção das diferentes camadas da atmosfera, com diferentes composições em: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera.

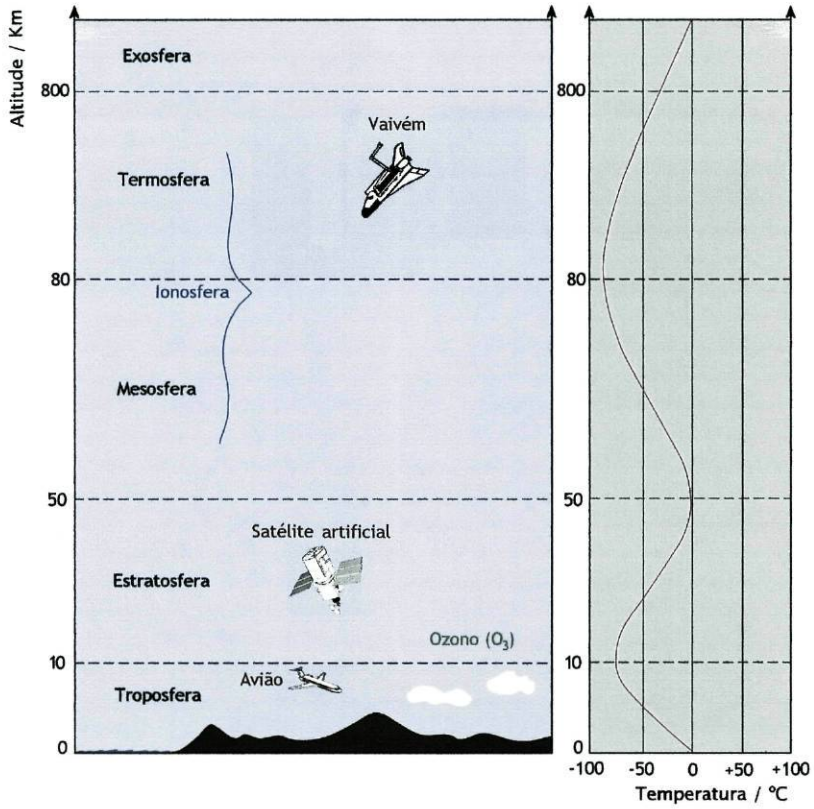


Fig. 1- Estrutura vertical da atmosfera, baseada na variação das características térmicas, em altitude

Por agora, vamo-nos centrar numa região particular da atmosfera, que se situa entre aproximadamente os 10 km e os 50 km: a **Estratosfera**.

Nos seus principais gases constituintes esta região é semelhante à troposfera. Todavia, a elevada energia da radiação nesta região conduz a reacções diferentes daquelas que são encontradas próximo da superfície da Terra. A mais importante dessas reacções é relativa à síntese e à decomposição de um gás constituído por três átomos de oxigénio (O), o ozono (O_3).

Foi em 1930 que o cientista inglês, Sydney Chapman, propôs pela primeira vez um mecanismo, para explicar a produção e a destruição do ozono na estratosfera. Este mecanismo é designado por **Mecanismo de Chapman**.

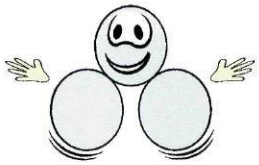


Fig. 2- O amigo ozono, mascote representando a molécula de ozono, que é composta por três átomos de oxigénio

O ozono acumula-se principalmente na região da atmosfera, onde é produzido, numa camada com cerca de 15 km de espessura, designada por "camada de ozono". Esta desempenha um papel fundamental para a vida na Terra, ao absorver grande parte (mais de 95%) da radiação ultravioleta proveniente do sol, que de outro modo atingia a Terra.

No entanto, há já algum tempo os cientistas estão preocupados com a diminuição da espessura da camada de ozono, o que irá fazer com que a quantidade de radiação ultravioleta que atinge a Terra aumente, podendo causar muitos problemas de saúde humana. Esta radiação é a principal causa de ocorrência de cancros de pele e tem ainda a capacidade de enfraquecer o sistema imunológico, o que ajuda os cancros não só a estabelecerem-se, mas também a crescerem rapidamente.

A radiação ultravioleta é também a principal causa da formação de cataratas (opacidade do cristalino dos olhos), provocando a cegueira a pelo menos 12 milhões de pessoas no mundo e a diminuição da visão a outros 18 milhões.

Mas não é só o Homem que é afectado com o acréscimo da radiação ultravioleta. A maior parte das espécies é directa ou indirectamente afectada. O crescimento das plantas terrestres reduz-se e o plâncton, que constitui a bases das cadeias alimentares em rios e oceanos, é parcialmente destruído, com a intensificação desta radiação. Consequentemente, também a base da nossa alimentação fica posta em causa.

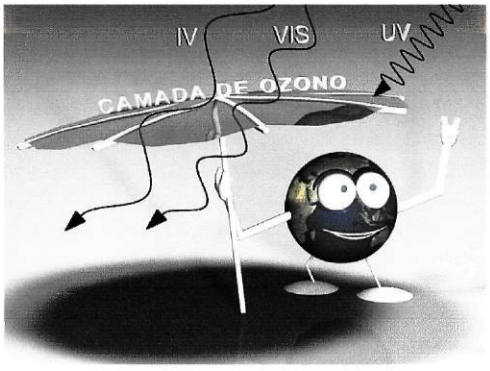


Fig. 3- A Terra protegida

A primeira manifestação da redução da camada de ozono foi descoberta sobre a Antárctida, em 1986, pelo físico britânico Joseph Farman. Porém, actualmente o perigo já não se restringe só ao continente antárctico, pois em várias regiões a "membrana protectora" está a ficar mais fina, permitindo a intensificação da quantidade de radiação ultravioleta que atinge a Terra.

O principal responsável por esta destruição é o Homem ao utilizar os **clorofluorcarbonetos – CFCs**.

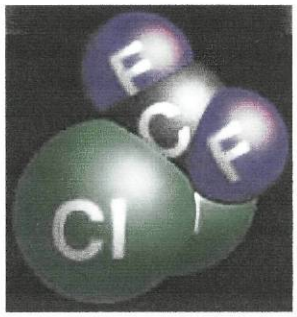


Fig. 4- Composição dos CFCs. Este tipo compostos, são moléculas que contém necessariamente átomos de cloro (Cl) e de flúor (F).

Estes compostos foram criados pelo Homem, em laboratório, nos finais dos anos 20. Não são tóxicos, nem inflamáveis e o único agente capaz de os destruir na atmosfera é a radiação ultravioleta.

Como esta radiação não existe em grandes quantidades a baixas altitudes, devido à membrana protectora na estratosfera, os CFCs permanecem durante décadas (de 67 a 111 anos, de acordo com o tipo de composto) no seu percurso até à estratosfera. Aí são "quebrados" pela radiação ultravioleta do sol, libertando-se cloro (Cl). Este átomo combina-se o ozono, destruindo-o.

Os CFCs são utilizados como gases de arrefecimento em frigoríficos e em aparelhos de ar condicionado, como gases propulsores de *sprays* e na produção de espumas.

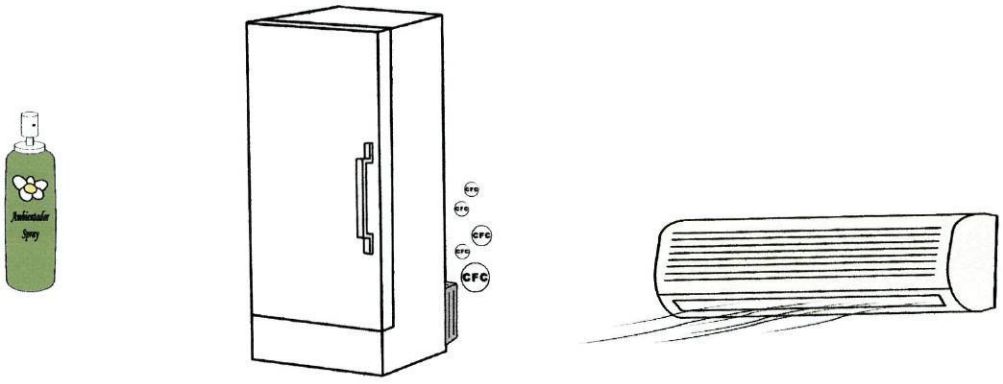


Fig. 5- Utilização dos CFCs

À semelhança dos CFCs, os *halons* utilizados nos extintores de incêndio têm o mesmo efeito destruidor sobre a camada de ozono devido ao bromo (Br) presente nesses compostos, que reage da mesma forma que o cloro.



Fig. 6- Utilização dos *halons*

Assim sendo é conveniente não adiar mais a protecção da camada de ozono para o futuro. Cabe-nos a nós deixar de contribuir para a sua destruição já que somos os principais responsáveis. Devemos então:

- Deixar de utilizar lacas, desodorizantes, tintas em *sprays* e outros *sprays* que contenham na sua constituição CFCs

- Tentar explicar aos nossos pais, amigos e colegas que eles devem também deixar de utilizar os produtos que possuam CFCs e *halons*

- Entretanto, enquanto não se recupera a espessura da camada de ozono, vale a pena termos medidas de protecção face à radiação ultravioleta, nomeadamente como: a exposição ao sol em horas adequadas, o uso protectores solares, ...



Fig. 7- Ao contrário deste menino quando vamos à praia devemos tomar medidas de protecção face à radiação ultravioleta

Sobre Portugal, a redução do ozono na estratosfera é já na ordem dos 4%. Por isso é importante não adiar mais a prevenção ambiental para o futuro, pois ao ritmo actual de poluição e degradação a espécie humana poderá deixar de ter condições de sobrevivência.

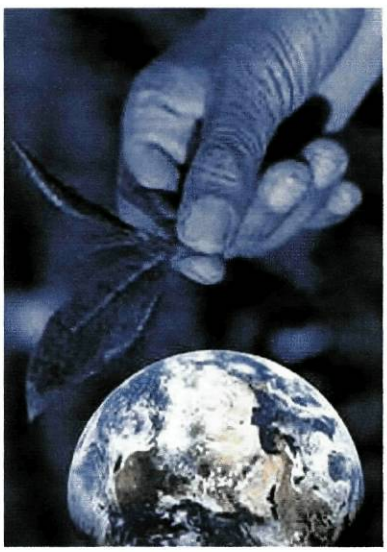


Fig. 8-A Terra, planeta maravilhoso em que vivemos, precisa das nossas boas atitudes para que a vida continue

Anexo 5

Fotografias da aplicação das diferentes abordagens desta temática

Fotografias da aplicação da abordagem com forte componente teórica

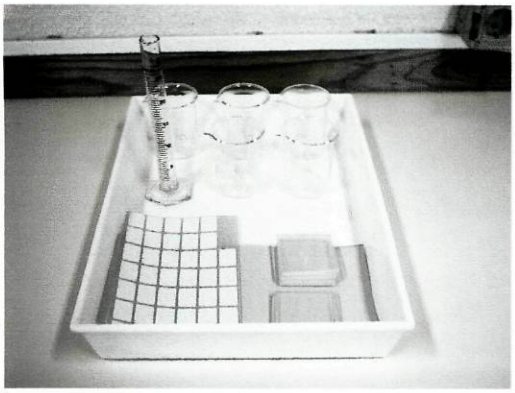


Fig. 1- Apresentação do tema pelos alunos que usufruíram da abordagem com forte componente teórica

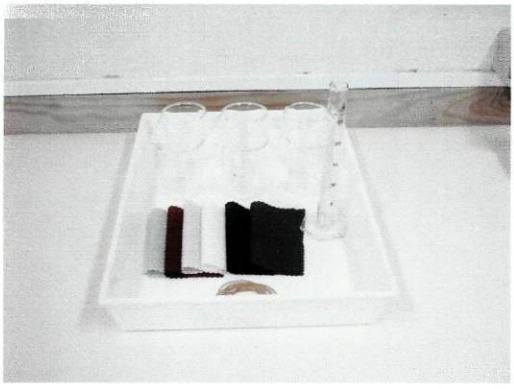


Fig. 2- Observação do grupo T após abordagem com forte componente teórica

Fotografias da aplicação da abordagem com forte componente laboratorial







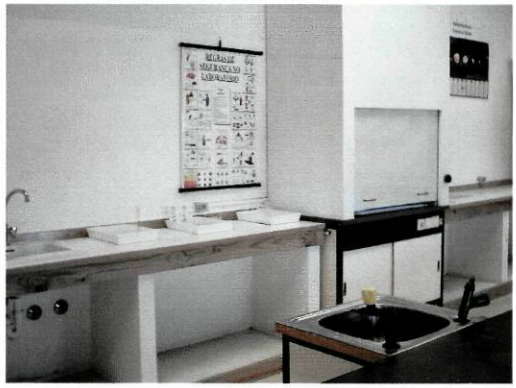


Fig. 3, 4, 5 e 6 – Tabuleiros com o material e os reagentes para a abordagem com forte componente laboratorial









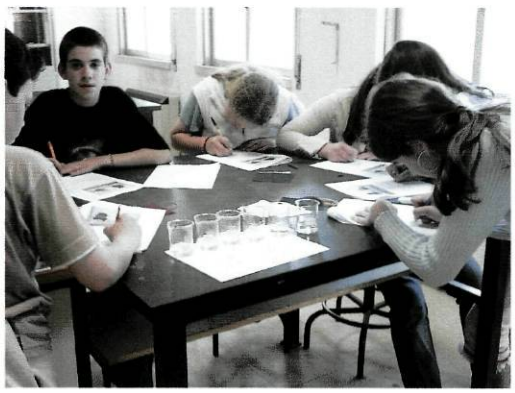


Fig. 7, 8, 9, 10 e 11- Implementação da abordagem com forte componente laboratorial

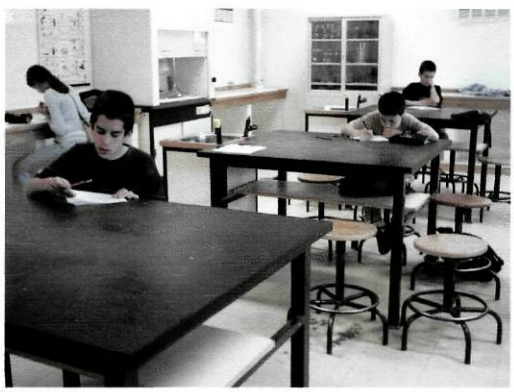


Fig. 12- Observação do grupo L após abordagem com forte componente laboratorial

Fotografias da aplicação da abordagem com forte componente multimédia

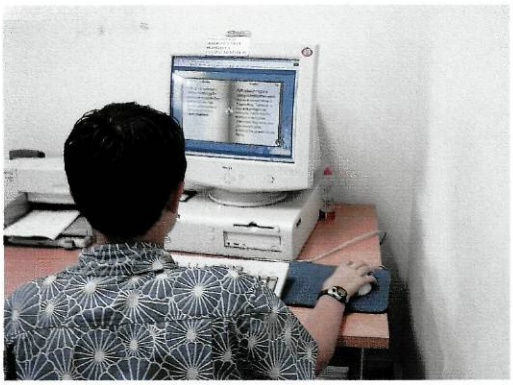






Fig. 13, 14 e 15- Implementação da abordagem com forte componente multimédia



Fig. 16- Observação do grupo M após abordagem com forte componente multimédia

Anexo 6

Questionário

QUESTIONÁRIO



IDENTIFICAÇÃO

Este é um questionário com 35 questões relacionadas com a atmosfera do planeta Terra.



INSTRUÇÕES:

- Para cada questão selecciona a alternativa correcta, com uma cruz no quadradinho ☒.

- Todas as questões têm uma só opção correcta.

- Apesar deste questionário não ser para avaliação, deves estar com o máximo de atenção.

- Se não souberes responder a uma questão, não assinales nenhuma alternativa.

Muito Obrigada pela participação

A professora

Susana Tavares

A atmosfera, tal como hoje a conhecemos, é uma mistura gasosa que envolve o globo terrestre, com uma espessura superior a 1000 km e que se estende desde a superfície terrestre até um limite superior indefinido.

1. Actualmente a atmosfera é composta principalmente por:
   - 1.1. Azoto, oxigénio e alguns gases nobres □
   - 1.2. Dióxido de carbono e oxigénio □
   - 1.3. Dióxido de carbono e enxofre □
   - 1.4. Água, azoto e hidrogénio □

2. Actualmente a atmosfera
   - 2.1. Está igual ao que era há milhões de anos atrás □
   - 2.2. Permanece estática □
   - 2.3. Continua a modificar-se □
   - 2.4. O conhecimento actual ainda não permite retirar conclusões □

3. Na atmosfera existem à medida que varia a altitude, variações de:
   - 3.1. Humidade □
   - 3.2. Temperatura □
   - 3.3. Pressão e temperatura □
   - 3.4. Pressão e humidade □

4. A atmosfera está dividida em 5 camadas, cuja sequência é:
   - 4.1. Troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera □
   - 4.2. Estratosfera, troposfera, exosfera, nanosfera e termosfera □
   - 4.3. Troposfera, termosfera, estratosfera, exosfera e mesosfera □
   - 4.4. Exosfera, troposfera, termosfera, estratosfera e nanosfera □

O ozono é um gás que existe naturalmente ao longo de toda a atmosfera. É azul-escuro, venenoso e apresenta um odor distinto.

5. A fórmula química do ozono é:
   - 5.1. OZ □
   - 5.2. 3 O □
   - 5.3. O_2 □
   - 5.4. O_3 □

6. O ozono foi descoberto no:
   - 6.1. Séc. XVIII □
   - 6.2. Séc. XIX □
   - 6.3. Séc. XX □
   - 6.4. Séc. XXI □

7. O ozono é produzido:

   7.1. Pelas plantas □

   7.2. Pelos animais □

   7.3. Por reacções químicas que têm lugar, particularmente, na atmosfera □

   7.4. Por reacções químicas que têm lugar, particularmente, na superfície da Terra □

8. O ozono, acumula-se principalmente numa região particular da atmosfera, qual?

   8.1. Troposfera □

   8.2. Estratosfera □

   8.3. Termosfera □

   8.4. Nanosfera □

9. A espessura dessa região é de aproximadamente:

   9.1. 5 m □

   9.2. 5 km □

   9.3. 10 km □

   9.4. 15 km □

10. A essa zona da atmosfera onde se acumula o ozono damos o nome de:

   10.1. Camada de ozono □

   10.2. Buraco de ozono □

   10.3. Efeito de ozono □

   10.4. Esfera de ozono □

11. A função principal desta região particular da atmosfera é:

   11.1. Proteger da chuva ácida e dos gases perigosos □

   11.2. Evitar o excesso de calor □

   11.3. Controlar a temperatura e manter a quantidade de oxigénio □

   11.4. Filtrar a radiação ultravioleta □

12. Em 1930, um cientista inglês propôs um mecanismo para explicar a produção/destruição do ozono, esse cientista foi:

   12.1. Neil Armstrong □

   12.2. Sherewood Rowland □

   12.3. Sydney Chapman □

   12.4. Mário Molina □

13. O mecanismo natural de formação/destruição do ozono na atmosfera ocorre:

   13.1. Em uma etapa □

   13.2. Em duas etapas □

   13.3. Em várias etapas □

   13.4. O conhecimento actual ainda não permite retirar conclusões □

Nos últimos anos, alguns cientistas alertaram que a quantidade de ozono, numa região particular da atmosfera, tem vindo a alterar-se, o que poderá ter algumas consequências.

14. Essas consequências são:

14.1. Intensificação das chuvas ácidas, com consequente fusão do gelo e inundações □

14.2. Facilidade para que o ar se escape para o espaço □

14.3. Entrada dos raios solares, com consequente aumento das chuvas □

14.4. Aumento da quantidade de radiação ultravioleta que atinge a Terra □

15. No caso particular da saúde humana, esta alteração poderá ser a principal causa do aumento do número de casos de:

15.1. Infecções pulmonares □

15.2. Intoxicações □

15.3. Pneumonias □

15.4. Cancros de pele □

16. Além do Homem, são também afectados por esta alteração da quantidade de ozono:

16.1. Só os mamíferos □

16.2. Grande parte das espécies □

16.3. Só as aves □

16.4. Só os peixes □

17. Na realidade a quantidade de ozono que se acumulou numa região particular da atmosfera tem vindo a:

17.1. Aumentar □

17.2. Diminuir □

17.3. Aumentar e a diminuir de forma irregular e aleatória □

17.4. O conhecimento actual ainda não permite retirar conclusões □

18. Essa variação da quantidade de ozono acorre apenas sobre:

18.1. Os países poluidores □

18.2. As zonas polares □

18.3. O mar □

18.4. Grande parte do planeta, havendo contudo zonas onde a alteração é mais acentuada □

19. Que cientistas alertaram que a variação da quantidade de ozono tinha origem humana?

19.1. Neil Armstrong e Sydney Chapman □

19.2. Sherewood Rowland e Mário Molina □

19.3. Sydney Chapman e Sherewood Rowland □

19.4. Sydney Chapman e Mário Molina □

20. O principal responsável por esta alteração é o Homem ao:

20.1. Utilizar os Clorofluorcarbonetos □

20.2. Ao poluir, em particular com as emissões de poluentes dos carros e das fábricas □

20.3. Intensificar pelas suas acções os problemas globais: Chuva ácida e Efeito de Estufa □

20.4. Destruir as florestas □

Um dos responsáveis pela alteração da quantidade de ozono numa região particular da atmosfera são os CFCs.

21. Estes são moléculas orgânicas que contém necessariamente:

21.1. Flúor e hidrogénio □

21.2. Carbono e oxigénio □

21.3. Cloro e Flúor □

21.4. Ozono □

22. Os CFCs são produzidos

22.1. Naturalmente pelos vegetais □

22.2. Naturalmente pelos animais □

22.3. Artificialmente pelo Homem □

22.4. Naturalmente na atmosfera □

23. Os CFCs surgem da:

23.1. Poluição □

23.2. Utilização de determinados sprays e sistemas de arrefecimento em frigoríficos e aparelhos de ar condicionado □

23.3. Emissões dos carros e das fábricas □

23.4. Destruição das florestas □

24. Os CFCs podem considerar-se na troposfera como excepcionalmente:

24.1. Estáveis □

24.2. Instáveis □

24.3. Inexistentes □

24.4. O conhecimento actual ainda não permite retirar conclusões □

25. Um agente capaz de destruir os CFCs é:

25.1. Radiação ultravioleta □

25.2. Humidade □

25.3. Calor □

25.4. Pressão □

26. A destruição dos CFCs ocorre na:

26.1. Nanosfera □ **26.3.** Estratosfera □

26.2. Troposfera □ **26.4.** Mesosfera □

27. Os CFCs são responsáveis pela alteração da quantidade de ozono porque libertam:

27.1. Hidrogénio □ **27.3.** Oxigénio □

27.2. Cloro □ **27.4.** Ozono □

28. Enquanto o ozono, numa região particular da atmosfera não atingir a espessura adequada nós devemos ter medidas de protecção, nomeadamente na(o):

28.1. Alimentação □ **28.3.** Ingestão de água □

28.2. Exposição ao Sol □ **28.4.** Descanso □

29. Em quantidade muitíssimo pequenas as radiações ultravioleta são salutares para:

29.1. A produção de vitamina D, indispensável ao normal desenvolvimento dos ossos □

29.2. Baixar a temperatura □

29.3. A produção de dióxido de carbono □

29.4. O aumento da temperatura □

30. Quando vamos para a praia e andamos ao sol devemos escolher uma T-shirt de que cor?

30.1. Branca □ **30.3.** Bege □

30.2. Preta □ **30.4.** Não devemos usar T-shirt □

31. As barracas da praia são vulgarmente azuis escuras porque:

31.1. Filtram melhor a radiação ultravioleta □

31.2. Protegem melhor dos mosquitos □

31.3. Tornam-se mais frescas □

31.4. É uma norma da CEE □

32. Quando vamos à praia devemos:

32.1. Usar protector solar com Índice de Protecção Solar elevado □

32.2. Usar protector solar com Índice de Protecção Solar baixo □

32.3. O uso ou não de protector solar, depende da hora a que se vai à praia □

32.4. Não usar nada □

33. Devemos ir à praia no seguinte intervalo de tempo:

33.1. 8 h -10 h □

33.2. 11 h -14 h □

33.3. 12h -13h □

33.4. Não devemos ir à praia □

34. Concluindo podemos dizer que o ozono, numa região particular da atmosfera é vital para a vida na Terra?

34.1. Sim □

34.2. Não □

34.3. Não sei □

34.4. O conhecimento actual ainda não permite retirar conclusões □

35. Nas linhas que se seguem, se tiveres tempo e se for interessante para ti, diz o que te falta compreender sobre este problema do "ozono na atmosfera".

Anexo 7

Notas dos testes de avaliação à disciplina de Ciências Físico-Químicas e algumas médias

Tabela 1- Notas dos testes de avaliação à disciplina de Ciências Físico-Químicas e algumas médias

	Grupo teórico								Grupo Laboratorial								Grupo multimédia							
	A	B	C	D	E	F	G	$\bar{\chi}_{iT}$	A	B	C	D	E	F	G	$\bar{\chi}_{iL}$	A	B	C	D	E	F	G	$\bar{\chi}_{iM}$
1º teste	51	60	74	67	74	90	87	$\bar{\chi}_{1T}$ 71,86	55	44	61	78	90	78	84	$\bar{\chi}_{1L}$ 70,00	48	63	54	75	90	88	92	$\bar{\chi}_{1M}$ 72,86
2º teste	35	57	39	66	70	74	89	$\bar{\chi}_{2T}$ 61,43	48	62	45	60	73	78	80	$\bar{\chi}_{2L}$ 63,71	28	66	56	66	83	88	95	$\bar{\chi}_{2M}$ 68,86
3º teste	48	50	48	63	70	81	72	$\bar{\chi}_{3T}$ 61,71	48	48	69	62	68	73	85	$\bar{\chi}_{3L}$ 64,71	16	54	57	67	69	70	94	$\bar{\chi}_{3M}$ 61,00
4º teste	61	57	65	70	65	82	86	$\bar{\chi}_{4T}$ 69,43	43	54	73	62	75	90	90	$\bar{\chi}_{4L}$ 69,57	35	48	73	58	81	79	85	$\bar{\chi}_{4M}$ 65,57
	$\bar{\chi}_{AT}$ 48,75	$\bar{\chi}_{BT}$ 56,00	$\bar{\chi}_{CT}$ 56,50	$\bar{\chi}_{DT}$ 66,50	$\bar{\chi}_{ET}$ 69,75	$\bar{\chi}_{FT}$ 81,75	$\bar{\chi}_{GT}$ 83,50	$\bar{\chi}_{T}$ 66,11	$\bar{\chi}_{AL}$ 48,50	$\bar{\chi}_{BL}$ 52,00	$\bar{\chi}_{CL}$ 62,00	$\bar{\chi}_{DL}$ 65,50	$\bar{\chi}_{EL}$ 76,50	$\bar{\chi}_{FL}$ 79,75	$\bar{\chi}_{GL}$ 84,75	$\bar{\chi}_{L}$ 67,00	$\bar{\chi}_{AM}$ 31,75	$\bar{\chi}_{BM}$ 57,75	$\bar{\chi}_{CM}$ 60,00	$\bar{\chi}_{DM}$ 66,50	$\bar{\chi}_{EM}$ 80,75	$\bar{\chi}_{FM}$ 81,25	$\bar{\chi}_{GM}$ 91,50	$\bar{\chi}_{M}$ 67,07

Anexo 8

Dados amostrais e cálculo de estatísticas para efectuar o teste de hipóteses ANOVA

Dados amostrais e cálculo de estatísticas para efectuar o teste de hipótese ANOVA com o objectivo de avaliar a igualdade das médias dos quatro testes à disciplina de Ciências Físico-Químicas entre os três grupos

H_0: $\bar{\chi}_T = \bar{\chi}_L = \bar{\chi}_M$

H_1: $\bar{\chi}_X \neq \bar{\chi}_Y$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

Tabela 1- Médias dos quatro testes à disciplina de Ciências Físico-Químicas para os alunos que constituem os três grupos

Aluno	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
A	48,75	48,50	31,75
B	56,00	52,00	57,75
C	56,50	62,00	60,00
D	66,50	65,50	66,50
E	69,75	76,50	80,75
F	81,75	79,75	81,25
G	83,50	84,75	91,50

Tabela 2 e Tabela 3- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	7	462,75	**66,11**	176,06
Laboratorial	7	469	**67,00**	193,73
Multimédia	7	469,5	**67,07**	394,95

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	4,04	2	2,02	0,01	3,55
Dentro de grupos	4588,45	18	254,91		
Total	4592,49	20			

Dados amostrais e cálculo de estatísticas para efectuar o teste de hipótese ANOVA com o objectivo de avaliar a igualdade das médias de cada um dos testes realizados à disciplina de Ciências Físico-Químicas entre os três grupos

1º Teste

H_0: $\bar{\chi}_{1T} = \bar{\chi}_{1L} = \bar{\chi}_{1M}$

H1: $\bar{\chi}_{1X} = \bar{\chi}_{1Y}$, com X, Y ∈ {T, L e M}

Tabela 4- Resultados obtidos por cada um dos alunos ao 1º teste da disciplina de Ciências Físico-Químicas

Aluno	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
A	51	55	48
B	60	44	63
C	74	61	54
D	67	78	75
E	74	90	90
F	90	78	88
G	87	84	92

Tabela 5 e Tabela 6- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	7	503	**71,86**	194,48
Laboratorial	7	490	**70,00**	284,33
Multimédia	7	510	**72,86**	327,48

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	29,43	2	14,71	0,05	3,55
Dentro de grupos	4837,71	18	268,76		
Total	4867,14	20			

2º Teste

H_0: $\bar{\chi}_{2T} = \bar{\chi}_{2L} = \bar{\chi}_{2M}$

H1: $\bar{\chi}_{2X} = \bar{\chi}_{2Y}$, com X, Y ∈ {T, L e M}

Tabela 7- Resultados obtidos por cada um dos alunos ao 2º teste da disciplina de Ciências Físico-Químicas

Aluno	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
A	35	48	28
B	57	62	66
C	39	45	56
D	66	60	66
E	70	73	83
F	74	78	88
G	89	80	95

Tabela 8 e Tabela 9- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	7	430	**61,43**	372,29
Laboratorial	7	446	**63,71**	194,90
Multimédia	7	482	**68,86**	516,81

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	202,67	2	101,33	0,28	3,55
Dentro de grupos	6504,00	18	361,33		
Total	6706,67	20			

3º Teste

H_0: $\bar{\chi}_{3T} = \bar{\chi}_{3L} = \bar{\chi}_{3M}$

H1: $\bar{\chi}_{3X} = \bar{\chi}_{3Y}$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

Tabela 10- Resultados obtidos por cada um dos alunos ao 3º teste da disciplina de Ciências Físico-Químicas

Aluno	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
A	48	48	16
B	50	48	54
C	48	69	57
D	63	62	67
E	70	68	69
F	81	73	70
G	72	85	94

Tabela 11 e Tabela 12- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	7	432	**61,71**	176,90
Laboratorial	7	453	**64,71**	179,24
Multimédia	7	427	**61,00**	560,00

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	54,38	2	27,19	0,09	3,55
Dentro de grupos	5496,86	18	305,38		
Total	5551,24	20			

4º Teste

H_0: $\bar{\chi}_{4T} = \bar{\chi}_{4L} = \bar{\chi}_{4M}$

H1: $\bar{\chi}_{4X} = \bar{\chi}_{4Y}$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

Tabela 13- Resultados obtidos por cada um dos alunos ao 4º teste da disciplina de Ciências Físico-Químicas

Aluno	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
A	61	43	35
B	57	54	48
C	65	73	73
D	70	62	58
E	65	75	81
F	82	90	79
G	86	90	85

Tabela 14 e Tabela 15- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	7	486	**69,43**	116,29
Laboratorial	7	487	**69,57**	313,62
Multimédia	7	459	**65,57**	358,62

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	72,10	2	36,05	0,14	3,55
Dentro de grupos	4731,14	18	262,84		
Total	4803,24	20			

Dados amostrais e cálculo de estatísticas para efectuar o teste de hipótese ANOVA com o objectivo de avaliar a igualdade das médias dos quatro testes realizados à disciplina de Ciências Físico-Químicas em relação a cada um dos alunos dos três grupos

Aluno A

H_0: $\bar{\chi}_{AT} = \bar{\chi}_{AL} = \bar{\chi}_{AM}$

H1: $\bar{\chi}_{AX} = \bar{\chi}_{AY}$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

Tabela 16- Resultados obtidos por cada um dos testes do aluno A de cada grupo

Teste	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
1	51	55	48
2	35	48	28
3	48	48	16
4	61	43	35

Tabela 17 e Tabela 18- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	4	195	**48,75**	114,92
Laboratorial	4	194	**48,50**	24,33
Multimédia	4	127	**31,75**	178,92

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	759,50	2	379,75	3,58	4,26
Dentro de grupos	954,50	9	106,06		
Total	1714,00	11			

Aluno B

H_0: $\bar{\chi}_{BT} = \bar{\chi}_{BL} = \bar{\chi}_{BM}$

H1: $\bar{\chi}_{BX} = \bar{\chi}_{BY}$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

Tabela 19- Resultados obtidos por cada um dos testes do aluno B de cada grupo

Teste	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
1	60	44	63
2	57	62	66
3	50	48	54
4	57	54	48

Tabela 20 e Tabela 21- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	4	224	**56,00**	18,00
Laboratorial	4	208	**52,00**	61,33
Multimédia	4	231	**57,75**	68,25

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	69,50	2	34,75	0,71	4,26
Dentro de grupos	442,75	9	49,19		
Total	512,25	11			

Aluno C

H_0: $\bar{\chi}_{CT} = \bar{\chi}_{CL} = \bar{\chi}_{CM}$

H1: $\bar{\chi}_{CX} = \bar{\chi}_{CY}$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

Tabela 22- Resultados obtidos por cada um dos testes do aluno C de cada grupo

Teste	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
1	74	61	54
2	39	45	56
3	48	69	57
4	65	73	73

Tabela 23 e Tabela 24- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	4	226	**56,50**	252,33
Laboratorial	4	248	**62,00**	153,33
Multimédia	4	240	**60,00**	76,67

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	62,00	2	31,00	**0,19**	**4,26**
Dentro de grupos	1447,00	9	160,78		
Total	1509,00	11			

Aluno D

H_0: $\bar{\chi}_{DT} = \bar{\chi}_{DL} = \bar{\chi}_{DM}$

H1: $\bar{\chi}_{DX} = \bar{\chi}_{DY}$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

Tabela 25- Resultados obtidos por cada um dos testes do aluno D de cada grupo

Teste	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
1	67	78	75
2	66	60	66
3	63	62	67
4	70	62	58

Tabela 26 e Tabela 27- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	4	266	**66,50**	8,33
Laboratorial	4	262	**65,50**	70,33
Multimédia	4	266	**66,50**	48,33

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	2,67	2	1,33	**0,03**	**4,26**
Dentro de grupos	381,00	9	42,33		
Total	383,67	11			

Aluno E

H_0: $\bar{\chi}_{ET} = \bar{\chi}_{EL} = \bar{\chi}_{EM}$

H1: $\bar{\chi}_{EX} = \bar{\chi}_{EY}$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

Tabela 28- Resultados obtidos por cada um dos testes do aluno E de cada grupo

Teste	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
1	74	90	90
2	70	73	83
3	70	68	69
4	65	75	81

Tabela 29 e Tabela 30- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	4	279	**69,75**	13,58
Laboratorial	4	306	**76,50**	89,67
Multimédia	4	323	**80,75**	76,25

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	246,17	2	123,08	2,06	4,26
Dentro de grupos	538,50	9	59,83		
Total	784,67	11			

Aluno F

H_0: $\bar{\chi}_{FT} = \bar{\chi}_{FL} = \bar{\chi}_{FM}$

H1: $\bar{\chi}_{FX} = \bar{\chi}_{FY}$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

Tabela 31- Resultados obtidos por cada um dos testes do aluno F de cada grupo

Teste	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
1	90	78	88
2	74	78	88
3	81	73	70
4	82	90	79

Tabela 32 e Tabela 33- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	4	327	**81,75**	42,92
Laboratorial	4	319	**79,75**	52,25
Multimédia	4	325	**81,25**	74,25

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	8,67	2	4,33	0,08	4,26
Dentro de grupos	508,25	9	56,47		
Total	516,92	11			

Aluno G

H_0: $\bar{\chi}_{GT} = \bar{\chi}_{GL} = \bar{\chi}_{GM}$

H1: $\bar{\chi}_{GX} = \bar{\chi}_{GY}$, com X, Y $\in$ {T, L e M}

Tabela 34- Resultados obtidos por cada um dos testes do aluno G de cada grupo

Teste	Grupo		
	Teórico	Laboratorial	Multimédia
1	87	84	92
2	89	80	95
3	72	85	94
4	86	90	85

Tabela 35 e Tabela 36- Cálculo de estatísticas

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Teórico	4	334	**83,50**	60,33
Laboratorial	4	339	**84,75**	16,92
Multimédia	4	366	**91,50**	20,33

Fonte de variação	Variação	g. l.	DMQ	$F_{amostral}$	$F_{crítico}$
Entre grupos	148,17	2	74,08	2,28	4,26
Dentro de grupos	292,75	9	32,53		
Total	440,92	11			

Anexo 9

Quantificação das respostas dadas pelos alunos nos questionários

Tabela 1- Quantificação das respostas dadas pelos alunos nos questionários

pre-teste

Grupo	Aluno	Pergunta 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	I	%
Teórico	A	0		0	0	1					1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0		0			0			1	1	0	1	0	0	0	9	26,5
	B	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	16	47,1
	C	0	1	1		1		0		1	1	0	0		1	0	1	0	1	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	11	32,4
	D	1	1			1		1	1	0	1			1	0	0	1		1		0	1	1	1				0	0	0	0	0	1	1	0	14	41,2
	E	1	1	1		1		1			1	1	0	0	1	1	1	1	1		0	1	1	1	0			1	1	1	0	1	1	1	0	21	61,8
	F	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	14	41,2
	G	1	1	1	0	0	0	1			1	1	0		1	1	1	0	0	0	0	1	1	1		0		1	1	0	0	1	1	0	0	16	47,1
total		4	6	3	0	5	1	4	2	1	6	4	0	3	6	3	7	1	5	0	0	5	4	5	0	0	1	2	5	2	0	4	6	5	1		
% por perguntas		57,1	85,7	42,9	0	71,4	14,3	57,1	28,6	14,3	85,7	57,1	0	42,9	85,7	42,9	100	14,3	71,4	0	0	71,4	57,1	71,4	0	0	14,3	28,6	71,4	28,6	0	57,1	85,7	71,4	14,3		
Laboratorial	A	0		0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	13	38,2
	B	0	1	0		0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0		1	0	0	1	0	0	1	1	1	14	41,2
	C	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	16	47,1
	D	0	1		1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	12	35,3
	E	1	1	0	0	1	0	1			1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	20	58,8
	F	1	1	1		1	0	1			1	1			1	1	1	1	0		1			1	0			0	1	1	0	1	1	0	1	17	50
	G	1	1	1		1	1	1	0		1	1	0	1	1	1	1	1	0		0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	24	70,6
total		4	6	2	1	4	3	5	1	1	6	3	0	3	4	6	7	3	4	0	2	2	5	7	1	2	2	1	5	3	1	5	6	5	6		
% por perguntas		57,1	85,7	28,6	14,3	57,1	42,9	71,4	14,3	14,3	85,7	42,9	0	42,9	57,1	85,7	100	42,9	57,1	0	28,6	28,6	71,4	100	14,3	28,6	28,6	14,3	71,4	42,9	14,3	71,4	85,7	71,4	85,7		
Multimédia	A	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	11	32,4
	B	0	1	1		0	1	1			1	0	0		0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1		0	0	1	1	1	15	44,1
	C	0	0	0		1		1	1		0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	9	26,5
	D	0	1	1		0		0	0		0	0		1	1	0	1	0	1		0	1	0	1	0				0	0	0	0	1	0	1	0	9	26,5
	E	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	19	55,9
	F	1	1	1		1		1		0	1	1			1	1	1	1	1		0	0	1	1	0			0	1	1	0	1	1	1	1	19	55,9
	G	1	1	1		1	1	0			0	1	0	0	0	1	1	0	1		1	0	1	1	0	1		0	1	0	0	1	1	1	0	17	50
total		3	6	4	0	3	2	3	2	1	4	4	1	2	3	3	7	2	6	0	2	1	6	4	1	3	0	0	4	2	0	4	6	6	4		
% por perguntas		42,9	85,7	57,1	0	42,9	28,6	42,9	28,6	14,3	57,1	57,1	14,3	28,6	42,9	42,9	100	28,6	85,7	0	28,6	14,3	85,7	57,1	14,3	42,9	0	0	57,1	28,6	0	57,1	85,7	85,7	57,1		

pos-teste

Grupo	Aluno	Pergunta 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	I	%
Teórico	A	1		1	1	1	0	0	1	0	0	1	1		1	1		0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	23	67,6
	B	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	25	73,5
	C	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	22	64,7
	D		1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	25	73,5
	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1		1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	29	85,3
	F	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	29	85,3
	G	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	28	82,4
total		5	6	7	7	7	2	4	5	6	4	6	7	3	7	7	6	3	6	0	7	7	7	7	3	6	4	5	7	6	0	4	7	6	7		
% por perguntas		71,4	85,7	100	100	100	28,6	57,1	71,4	85,7	57,1	85,7	100	42,9	100	100	85,7	42,9	85,7	0	100	100	100	100	42,9	85,7	57,1	71,4	100	85,7	0	57,1	100	85,7	100		
Laboratorial	A	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	24	70,6
	B	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	21	61,8
	C	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	28	82,4
	D	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26	76,5
	E	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0		1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	23	67,6
	F	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	30	88,2
	G	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	31	91,2
total		4	6	4	4	5	1	5	7	7	7	7	2	3	7	7	7	6	5	2	7	6	7	7	2	5	4	6	6	5	7	7	7	4	7		
% por perguntas		57,1	85,7	57,1	57,1	71,4	14,3	71,4	100	100	100	100	28,6	42,9	100	100	100	85,7	71,4	28,6	100	85,7	100	100	28,6	71,4	57,1	85,7	85,7	71,4	100	100	100	57,1	100		
Multimédia	A	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	22	64,7
	B	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	24	70,6
	C	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	22	64,7
	D	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	28	82,4
	E	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	27	79,4
	F	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	29	85,3
	G	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	29	85,3
total		3	7	3	7	7	1	4	6	4	5	7	7	1	7	7	7	4	6	5	7	4	5	7	1	5	4	5	7	5	7	6	7	7	6		
% por perguntas		42,9	100	42,9	100	100	14,3	57,1	85,7	57,1	71,4	100	100	14,3	100	100	100	57,1	85,7	71,4	100	57,1	71,4	100	14,3	71,4	57,1	71,4	100	71,4	100	85,7	100	100	85,7		

Anexo 10

Valores calculados para os ganhos de aprendizagem

Tabela 1- Valores calculados para os ganhos de aprendizagem

Aluno	% pré-teste	% pós-teste	Y esperado	GR	GRC	GRCM
A_T	26	68	68,68	-0,68	13,92	
B_T	47	74	77,54	-3,54	11,06	
C_T	32	65	71,21	-6,21	8,39	
D_T	41	74	75,01	-1,01	13,59	15,19
E_T	62	85	83,87	1,13	15,73	
F_T	41	85	75,01	9,99	24,59	
G_T	47	82	77,54	4,46	19,06	
A_L	38	71	73,74	-2,74	11,86	
B_L	41	62	75,01	-13,01	1,59	
C_L	47	82	77,54	4,46	19,06	
D_L	35	76	72,47	3,53	18,13	13,20
E_L	59	68	82,60	-14,60	0,00	
F_L	50	88	78,80	9,20	23,80	
G_L	71	91	87,67	3,33	17,93	
A_M	32	65	71,21	-6,21	8,39	
B_M	44	71	76,27	-5,27	9,33	
C_M	26	65	68,68	-3,68	10,92	
D_M	26	82	68,68	13,32	27,92	15,41
E_M	56	79	81,34	-2,34	12,26	
F_M	56	85	81,34	3,66	18,26	
G_M	50	85	78,80	6,20	20,80	



FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Anexo 11

