



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
MESTRADO EM FÍSICA PARA O ENSINO

**e-Astro: O e-learning aplicado
ao ensino da Astronomia**
Planetas Telúricos

Dissertação apresentada à Universidade de Évora para cumprimento dos
requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Física para o Ensino.
Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri.

Mestrando: *Alexandre Morais Marques*

Orientadores: *Professor Doutor Alfredo Jorge Palace Carvalho*
Professor Doutor António José Estevão Candeias
Professor Doutor Miguel António Nova Araújo

Évora, Julho de 2009



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
MESTRADO EM FÍSICA PARA O ENSINO

**e-Astro: O e-learning aplicado
ao ensino da Astronomia**
Planetas Telúricos



171 344

Mestrando: *Alexandre Morais Marques*

Orientadores: *Professor Doutor Alfredo Jorge Palace Carvalho*
Professor Doutor António José Estevão Candeias
Professor Doutor Miguel António Nova Araújo

Évora, Julho de 2009

Agradecimentos

Durante a realização desta dissertação, apesar do processo solitário a que estava destinado, contei com o apoio de várias pessoas, cujos contributos permitiram a concretização deste trabalho.

Ao Professor Doutor António José Candeias, agradeço a confiança, o incentivo, a diligência e os meios que colocou ao meu dispor. Ao Professor Doutor Alfredo Palace Carvalho agradeço a disponibilidade e o apoio que me prestou. Ao Professor Doutor Miguel Nova Araújo, agradeço a orientação, a partilha do saber, as valiosas contribuições para a dissertação, e acima de tudo, o estímulo do meu interesse pela Astronomia.

O meu agradecimento sincero e profundo à minha família, em particular aos meus pais, António e Nídia, e irmã, Margarida, pelo amor que sempre me devotaram; ao Eduardo, ao Jorge, e aos amigos próximos, pelo companheirismo e crescimento partilhado; e em especial à Susana pela sua constante dedicação, compreensão e carinho.

Resumo

Título da dissertação - e-Astro: O e-learning aplicado ao ensino da Astronomia

A investigação em didáctica das ciências tem mostrado que a generalidade dos alunos manifesta cada vez menos interesse para aprender ciências. No entanto, o incremento da importância de temas científicos no nosso dia-a-dia, exige dos indivíduos um conhecimento científico cada vez mais aprofundado.

O estudo da Astronomia permite abordar e interligar os conteúdos de física mais facilmente, tornando possível a aproximação do conhecimento científico ao conhecimento do quotidiano, mostrando a estreita ligação entre a Física, a Sociedade e a Tecnologia.

O processo de ensino-aprendizagem encontra-se em mudança devido à integração das T.I.C. Através da internet e tirando partido do multimédia é possível desenvolver uma formação científica adequada que contribua para o despertar da curiosidade e do interesse dos alunos pela Ciência.

Tendo em conta os pressupostos anteriores pretende-se, com este estudo, desenvolver uma plataforma de e-learning e recursos multimédia que satisfaçam estes requisitos.

Palavras-chave

e-learning

multimédia

ensino

astronomia

planetas telúricos

sistema solar

Abstract

Title of the dissertation - e-Astro: The e-learning applied to the teaching of Astronomy

The investigation in didactics of sciences has been showing that the generality of students show less and less interest to learn sciences. However, the increment of the importance of scientific themes in our day-to-day life, demands from the individuals an increasingly deeper scientific knowledge.

The study of Astronomy allows to approach and to interconnect physics subjects more easily, making possible the approach of scientific knowledge to the knowledge of everyday life, showing the narrow connection among Physics, Society and Technology.

The teaching-learning process is in change due to the integration of the I.C.T. Through the internet and taking advantage of multimedia it is possible to develop an appropriate scientific formation that contributes to the awakening of curiosity and of the student's interest for Science.

Having in mind the previous presuppositions is intended, with this study, to develop an e-learning platform and multimedia resources that satisfy these requirements.

Keywords

e-learning

multimedia

teaching

astronomy

terrestrial planets

solar system

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABELAS	VIII
1. DISSERTAÇÃO E-ASTRO	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	4
1.3. A ESCOLHA DO TEMA	7
1.4. TENDÊNCIAS CURRICULARES NO ENSINO DAS CIÊNCIAS	9
1.5. ABORDAGEM CONTEXTUALIZADA	13
1.6. CONTEXTOS E ORGANIZAÇÃO DOS CONTEÚDOS	16
1.7. CURIOSIDADE E IMAGINAÇÃO NA SALA DE AULA	18
1.8. ABORDAGEM HUMANISTA DA CIÊNCIA	23
2. E-LEARNING NA FORMAÇÃO	27
2.1. INTRODUÇÃO	27
2.2. ENSINO PRESENCIAL	28
2.3. ENSINO A DISTÂNCIA	30
2.4. ENSINO DISTRIBUÍDO	32
2.5. CONCEITO DE E-LEARNING	35
2.6. FORÇAS QUE IMPULSIONARAM O E-LEARNING	38
2.7. SISTEMAS MULTIMÉDIA	40
2.8. MODELO CONCEPTUAL E DIMENSÕES DE UM AMBIENTE E-LEARNING	42
2.9. FORMAÇÃO DE COMUNIDADES DE APRENDIZAGEM	44
2.10. VANTAGENS DO E-LEARNING	45
2.11. DESVANTAGENS DO E-LEARNING	47
2.12. PERSPECTIVA ACTUAL E FUTURA DO E-LEARNING	48
3. INTERFACE E CONTEÚDOS NO E-LEARNING	51
3.1. INTRODUÇÃO	51
3.2. INTERFACES	52
3.3. ERGONOMIA	55
3.4. ATENÇÃO E PERCEPÇÃO	57
3.5. INDEPENDÊNCIA E ADAPTABILIDADE À RESOLUÇÃO DE ECRÃ	58

3.6. TEMPO DE CARREGAMENTO DE FICHEIROS MÍNIMO	59
3.7. EVITAR A UTILIZAÇÃO DE QUADROS	60
3.8. ESCREVER PARA O ECRÃ	61
3.9. LEGIBILIDADE	64
3.10. INTELIGIBILIDADE	68
3.11. CORES	70
3.12. GRÁFICOS	75
3.13. GRÁFICOS 3D	77
3.14. ANIMAÇÕES, ÁUDIO E VÍDEO	78
3.15. NAVEGAÇÃO	80
3.16. METÁFORAS	84
3.17. ORIENTAÇÕES GERAIS PARA A PRODUÇÃO DE E-CONTEÚDOS	86
3.18. CONCEPÇÃO DE E-CONTEÚDOS	88

4. CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO **89**

4.1. INTRODUÇÃO	89
4.2. CONCEPÇÃO DA APLICAÇÃO DE E-LEARNING E-ASTRO	90
4.3. DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO E-LEARNING E-ASTRO	94
4.4. VALIDAÇÃO DA APLICAÇÃO E-LEARNING E-ASTRO	99
4.5. OPTIMIZAÇÃO PARA MOTORES DE BUSCA	100
4.6. SUBMISSÃO DO SÍTIO E-ASTRO PARA DIRECTÓRIOS	105
4.7. SUBMISSÃO DO SÍTIO E-ASTRO PARA MOTORES DE BUSCA	109
4.8. HIPERLIGAÇÕES EXTERNAS PARA O SÍTIO E-ASTRO	114

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS **117**

ANEXO 1. MERCÚRIO **121**

1.1. INTRODUÇÃO	121
1.2. ATMOSFERA DE MERCÚRIO	123
1.3. SUPERFÍCIE DE MERCÚRIO	124
1.4. INTERIOR DE MERCÚRIO	129
1.5. OBSERVAÇÃO DE MERCÚRIO	132
1.6. MISSÕES A MERCÚRIO	135
1.7. HISTÓRIA DE MERCÚRIO	140
1.8. DADOS FÍSICOS DE MERCÚRIO	145

ANEXO 2. VÊNUS **147**

2.1. INTRODUÇÃO	147
2.2. ATMOSFERA DE VÊNUS	150
2.3. SUPERFÍCIE DE VÊNUS	157
2.4. INTERIOR DE VÊNUS	162
2.5. OBSERVAÇÃO DE VÊNUS	165
2.6. MISSÕES A VÊNUS	167
2.7. HISTÓRIA DE VÊNUS	171
2.8. DADOS FÍSICOS DE VÊNUS	175

ANEXO 3. TERRA	177
3.1. INTRODUÇÃO	177
3.2. ATMOSFERA DA TERRA	181
3.3. SUPERFÍCIE DA TERRA	188
3.4. INTERIOR DA TERRA	193
3.5. SATÉLITE DA TERRA	199
3.6. OBSERVAÇÃO DA LUA	205
3.7. MISSÕES À LUA	211
3.8. DADOS FÍSICOS DA TERRA	214
ANEXO 4. MARTE	215
4.1. INTRODUÇÃO	215
4.2. ATMOSFERA DE MARTE	218
4.3. SUPERFÍCIE DE MARTE	221
4.4. INTERIOR DE MARTE	226
4.5. OBSERVAÇÃO DE MARTE	229
4.6. MISSÕES A MARTE	231
4.7. SATÉLITES DE MARTE	236
4.8. HISTÓRIA DE MARTE	238
4.9. DADOS FÍSICOS DE MARTE	245
REFERÊNCIAS	247

Índice de Figuras

Figura 1 - Acesso ao sítio e-Astro a partir da página do projecto MASTER	89
Figura 2 - Esboço original e sequência de entrada no sítio e-Astro	90
Figura 3 - Esboço original e sequência de entrada no Sistema Solar	91
Figura 4 - Pormenor do menu do Sistema Solar	91
Figura 5 - Esboço original e sequência de entrada no Astro	92
Figura 6 - Exemplo de imagens legendadas	92
Figura 7 - Exemplo de animação em Flash	93
Figura 8 - Exemplo de vídeo e da NASA TV	93
Figura 9 - Desenvolvimento em Dreamweaver e Fireworks CS3 da Adobe	94
Figura 10 - Desenvolvimento em 3DS MAX 9	95
Figura 11 - Desenvolvimento em Flash CS3 Professional	96
Figura 12 - Esboço original e sequência de vídeo	97
Figura 13 - Esboço original e desenvolvimento em Swift 3D 4.5	98
Figura 14 - Animação e renderização em 3DS Max 9	98
Figura 15 - Validação e certificação HTML e CSS pelo W3C	99
Figura 16 - Disposição dos resultados orgânicos e pagos do Google	100
Figura 17 - Sítio e-Astro nos resultados orgânicos do Google	102
Figura 18 - Submissão para o Dmoz - Open Directory Project	106
Figura 19 - PageRank do sítio e-Astro no Google Directory	106
Figura 20 - Submissão para o Directório SAPO	107
Figura 21 - Submissão para o MundoPT	107
Figura 22 - Submissão para o AEIOU	108
Figura 23 - Submissão para o NetINDEX	108
Figura 24 - Resultados do Google para "e-astro" nas páginas de Portugal	110
Figura 25 - Resultados do Google para "master e-astro" nas páginas de Portugal	110
Figura 26 - Resultados do Yahoo para "e-astro" nas páginas em português	111
Figura 27 - Resultados do Yahoo para "master e-astro" nas páginas em português	111
Figura 28 - Resultados do Live Search para "e-astro" nas páginas de Portugal	112
Figura 29 - Resultados do Live Search para "master e-astro" nas páginas de Portugal	112
Figura 30 - Resultados do Sapo para "e-astro" nas páginas de Portugal	113
Figura 31 - Resultados do Sapo para "master e-astro" nas páginas de Portugal	113
Figura 32 - Hiperligações externas criadas por utilizadores do sítio e-Astro	114
Figura 33 - Sítio e-Astro nas ligações externas da Wikipédia	115
Figura 34 - Pesquisa no Google por hiperligações para o sítio e-Astro	115
Figura 35 - Páginas com hiperligações para o sítio e-Astro	116
Figura 36 - Mapa visual interactivo Kartoo para "e-astro astronomia"	116

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Palavras-chave mais relevantes para o sítio e-Astro	103
Tabela 2 - Dados físicos de Mercúrio	145
Tabela 3 - Dados físicos de Vénus	175
Tabela 4 - Dados físicos da Terra	214
Tabela 5 - Dados físicos de Marte	245

1. Dissertação e-Astro

1.1. Introdução

Com a presente dissertação pretende-se contribuir para uma nova abordagem da forma de equacionar a educação e a aprendizagem passando de um ensino centrado no professor para uma aprendizagem construída pelo próprio aluno, através do desenvolvimento e divulgação de uma plataforma de e-learning e de recursos multimédia de natureza pedagógico-científica na área da Astronomia. Os objectivos principais desta dissertação são:

- i) Desenvolver uma plataforma de e-learning e recursos multimédia sobre Astronomia destinada a alunos e docentes do ensino básico e secundário que permitam despertar a curiosidade e o interesse pela Ciência e contribuir para o desenvolvimento de uma formação científica adequada. (disponível em <http://www.master.uevora.pt/e-astro/>)
- ii) Estimular o gosto pela ciência nos alunos tirando partido do multimédia para uma abordagem dinâmica da Astronomia, um tema motivador e aglutinador, promotor de literacia científica. Superar a escassa formação dos professores de Ciências no domínio da Astronomia.
- iii) Sensibilizar os professores relativamente à utilização de novas tecnologias na sua vertente técnica e pedagógica, minimizando a sua natural resistência à mudança e a falta de preparação pedagógica para este tipo de ensino.
- iv) Obter taxas de sucesso mais elevadas na aprendizagem pelo facto do ensino com recurso às TIC poder conduzir a um maior interesse, satisfação e concentração por parte dos alunos, uma vez que as estratégias expositivas serão parcialmente substituídas por estratégias de descoberta, exploração, etc.

O processo de ensino-aprendizagem encontra-se em mudança devido à integração das novas tecnologias de informação (TIC) como meio eficaz de transmissão de conhecimento. Pretende-se assim construir uma estrutura de ensino não formal que partindo do ensino à distância da Astronomia, contribua para o despertar da curiosidade e do interesse dos alunos pelas novas aquisições da Ciência e da Tecnologia.

Através da internet, um meio de comunicação extremamente poderoso e democratizado, é possível desenvolver uma formação científica adequada no âmbito da Astronomia, que capacite o aluno para a abordagem de problemas tanto específicos como multidisciplinares, de carácter científico e tecnológico. O desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a observação astronómica, bem como a compreensão e percepção do Universo em que nos rodeia são apenas alguns exemplos da importância da Astronomia no nosso dia-a-dia.

Devido à falta de formação dos professores de Ciências nesta área, esta temática não é leccionada ao nível do ensino básico e secundário de uma forma coerente e fundamentada. O desenvolvimento de uma plataforma de e-learning e de recursos multimédia que consigam satisfazer estes requisitos passando de ambientes e actividades virtuais para o estudo e descoberta dos ambientes reais, torna-se assim imperativo.

A temática da Astronomia e os conteúdos que lhe estão directa ou indirectamente associados fazem parte dos programas de Ciências Físico-Químicas do 3.º ciclo do ensino básico e do ensino secundário bem como dos programas de outras disciplinas, nomeadamente Ciências da Natureza (2.º ciclo) e Ciências Naturais (3.º ciclo).

A construção desta dissertação advém da necessidade de na realidade actual da sociedade do conhecimento, se proporcionar uma convergência entre a linguagem de transmissão (do professor) e a estrutura comunicacional de recepção (dos alunos). A cultura comunicacional dos alunos é uma cultura audiovisual dinâmica do som, da imagem, do vídeo, da cor e do movimento. Foi assim que os alunos aprenderam a perceber o mundo, e é assim que o mundo agora lhes deve ser apresentado pela escola.

Na sociedade do conhecimento, em que actualmente se vive, todos os agentes educativos têm que estar preparados e preparar as instituições onde leccionam para recorrer a metodologias de aprendizagem assistidas com recurso às novas tecnologias de informação e comunicação.

O recurso a estas metodologias deve abarcar um espectro largo de aplicações tais como: recursos para utilização presencial, não-presencial, síncrona (concedendo aos formandos a possibilidade de interagir, em tempo real, com os docentes e/ou colegas, através de sessões “ao vivo”) e assíncrona (concedendo aos formandos a possibilidade de ter acesso a conteúdos, participar em fóruns de discussão, comunicar com o docente e/ou colegas por e-mail).

A inserção das novas tecnologias de informação na educação tem sido encarada como um objectivo estratégico ao nível europeu e particularmente, ao nível nacional, onde o atraso relativamente a outros mercados, nomeadamente Estados Unidos e Japão, é significativo.

A plataforma de e-learning e os recursos multimédia que se pretendem desenvolver não foram pensados para concorrer com o sistema de ensino tradicional baseado na aula presencial, mas antes para aproveitar a sinergia de ambos os métodos, ou seja para complemento das aulas tradicionais:

- i) Possibilitam o acesso a uma formação personalizada, em que cada indivíduo, aprende de acordo com as suas necessidades e ao seu próprio ritmo;
- ii) Constituem um processo de aprendizagem menos intimidatório, na medida em que os alunos mais tímidos podem experimentar novas situações e cometerem erros sem se exporem, eliminando possíveis problemas de auto-estima perante os restantes colegas da aula;
- iii) Estimulam a auto-aprendizagem, desenvolvendo no aluno a competência de, autonomamente, utilizar e aproveitar conteúdos formativos disponíveis numa base tecnológica. Competência que ser-lhe-á, definitivamente, muito útil para as suas aprendizagens ao longo da vida profissional;
- iv) Possibilitam o fácil acesso a indivíduos com necessidades de acessibilidade especiais.

1.2. Contextualização do problema

A investigação em didáctica das ciências tem mostrado que, apesar de terem vindo a ser utilizados diferentes abordagens com base em diferentes modelos de ensino das ciências, a generalidade dos alunos manifesta cada vez mais desinteresse e falta de motivação para aprender ciências, e o seu questionamento sobre ciência, que caracteriza muitas das crianças do primeiro ciclo, tende a diminuir ao longo da escolaridade. (Pozo, J. 1997)

Consequentemente, apenas uma pequena parte dos alunos escolhe seguir cursos de ciências e matemática. Por isso, os meios profissionais, políticos e académicos têm manifestado cada vez mais a sua preocupação face à queda dos níveis de aprendizagem e de interesse dos alunos pelas ciências. No caso específico da Física, os alunos consideram-na aborrecida, difícil e desligada das suas experiências quotidianas. Como disciplina escolar, não consegue cativar a maioria dos alunos, particularmente os mais dotados. (Costa, S. 2001)

No entanto, o incremento da importância de temas científicos no nosso dia-a-dia exige uma população com um conhecimento científico suficiente para:

- i) acompanhar e compreender os debates científicos,
- ii) apreciar o valor da ciência e a sua contribuição para alterar a nossa concepção sobre nós próprios e o mundo que nos rodeia,
- iii) ponderar sobre as implicações éticas e morais do desenvolvimento científico e tecnológico,
- iv) tomar decisões conscientes.

Para que tenhamos uma democracia participada é necessário que os temas científicos não sejam olhados com condescendência, hostilidade e/ou superstição pela população. (Millar, R.; Osborne, J. 1998)

Por outro lado, constata-se que a educação no início do século XXI não pode mais preparar os alunos para o exercício de um único emprego ou função para toda a vida. Pelo contrário, o rápido desenvolvimento da tecnologia e a globalização da economia exigem a existência de uma população capaz de se adaptar e investir na aprendizagem ao longo da vida, de raciocinar, de ser criativa e inovadora, tomar decisões e resolver problemas. (Millar, R.; Osborne, J. 1998) (National Research Council 1996)

Em consequência, a Escola deve desenvolver nos jovens competências relacionadas com a aquisição de saberes em diversas áreas, com a comunicação dos mesmos e com a aprendizagem ao longo da vida. Tais competências não se coadunam com um ensino científico compartimentado, em que os conteúdos estão descontextualizados da realidade dos alunos. (Costa, S. 2001)

Hoje pensa-se que o futuro da nossa sociedade é possuir um conjunto de indivíduos que tenham uma boa compreensão das ciências para o seu trabalho e que consigam participar activamente como cidadãos numa sociedade democrática. (Millar, R.; Osborne, J. 1998)

São vários os motivos que são referidos como sendo as causas das atitudes e também dificuldades dos alunos face à aprendizagem das ciências:

i) Os professores, pressionados pela extensão dos programas, acabam por dar ênfase à memorização de factos e fórmulas, não havendo uma preocupação tão acentuada com o desenvolvimento do raciocínio dos alunos; para isto também contribui, algumas vezes, uma formação inadequada dos professores. (Sequeira, M. 1997) Não se promove a avaliação do aluno baseada na compreensão de situações com que ele se depara fora da sala de aula, onde tem de aplicar o seu conhecimento científico e onde a capacidade de recolher, seleccionar e analisar informação é essencial. Por isso, a grande maioria dos alunos que concluem a sua formação académica em ciências, aparentemente com sucesso, continuam a apresentar uma fraca familiarização com as ideias científicas que surgem no seu dia-a-dia. Como resultado de uma menor contextualização dos conteúdos na sala de aula, constata-se um incremento da tensão entre a escola e a ciência contemporânea apresentada nos média e entre as necessidades dos futuros especialistas e as dos jovens no mercado de trabalho como cidadãos informados. (Millar, R.; Osborne, J. 1998) Por outro lado, o ensino da ciência, no ensino básico, reflecte ainda a principal preocupação de alguns professores que é preparar os alunos para o prosseguimento de estudos. (Afonso, A.; Leite, L. 1999)

ii) A estrutura dos manuais escolares contribui, também, na sua generalidade, para que não sejam estabelecidas ligações entre as várias áreas da ciência, reforçando a ideia de que esta está compartimentada; e, como é reconhecido com certa unanimidade por investigadores, autores e professores, o manual escolar desempenha um papel central na organização do currículo por parte dos professores. (Vaz, M.; Valente, M. 1995)

iii) A abordagem do conhecimento científico é feita de um modo linear e cumulativo, o que não mostra a ciência em constante evolução, os impasses que surgem, e como o seu desenvolvimento se faz para dar resposta aos problemas que vão surgindo no nosso mundo. (Cid, M.; Valente, M. 1997) Ou seja, a ciência, tal como é mostrada, é descontextualizada social e historicamente. Por outro lado, o conhecimento científico surge como resultado da descoberta da realidade, baseada na observação atenta e fiel dos factos e orientada pela curiosidade. (Santos, E.; Valente, M. 1997) Alguns manuais escolares reforçam ainda mais esta ideia, atribuindo à edificação de ideias e conceitos científicos um carácter linear. Além disso, há uma tendência para sobrevalorizar neste método as competências de observação em detrimento das competências de reflexão.

Torna-se urgente promover a literacia científica dos nossos alunos, isto é, promover o conhecimento de ciência e sobre ciência, o gosto por continuar a acompanhar a ciência e saber permanecer informado. Para que tal aconteça é necessário alterar como e o que se ensina de ciências e, em particular, como e o que se ensina de física. Tendo em conta os pressupostos anteriores pretende-se, com este estudo, conceber, e implementar uma proposta alternativa para o ensino da Astronomia. (Millar, R.; Osborne, J. 1998) (Martins, I.; Veiga, L. 1999) (Costa, S. 2001)

1.3. A escolha do tema

A escolha da Astronomia para o tema da dissertação deveu-se aos seguintes pressupostos:

1. O tema desenvolve-se em torno do conhecimento do universo, assunto pelo qual os alunos manifestam grande interesse, principalmente, pela grande relevância que os média dão, actualmente, à astronomia, à astrofísica e à tecnologia espacial. De facto, livros, revistas, jornais, banda desenhada, jogos de computador, páginas na internet, televisão, e cinema abordam e dão ênfase às observações astronómicas, às descobertas científicas ligadas ao Espaço e à melhoria da tecnologia de exploração espacial. As principais razões que tornam apelativo este tema são:

i) Questões religiosas e espirituais: o estudo do Universo estimula o interesse não só pelas suas origens mas também pela origem da vida. (Costa, S. 2001)

ii) A grande aventura humana: a exploração do Universo é vista como uma aventura perigosa e, por vezes, dramática, estimulando fortemente o interesse da generalidade das pessoas e, em particular, dos mais novos. Para este grande entusiasmo terá contribuído o facto da maioria das notícias sobre o Universo e sua exploração serem positivas, e os seus intervenientes serem reconhecidos como heróis. Por outro lado, nas últimas décadas registou-se um *boom* editorial de livros de divulgação-popularização-vulgarização da ciência, dirigidos ao público juvenil e até infantil, sobre temas de Astronomia. Como consequência, a abordagem da Física, tendo como ponto de partida o estudo do Espaço, poderá motivar os alunos para o estudo desta ciência. (Diaz, J. 1999) (Stern, D. 1999)

2. O tema permite desmontar algumas crenças e medos, fomentados pelos média: os astrólogos podem prever o carácter e o futuro de uma pessoa ao observarem o céu; a astrologia é uma ciência; a existência de vida extraterrestre inteligente; entre outros.

3. O tema permite abordar e interligar os conteúdos previstos para as unidades temáticas da disciplina de Ciências Físico-Químicas do Ensino Básico: "Nós e o Universo", "O som e a audição" e "A luz e a visão", promovendo, mais facilmente, o estabelecimento de ligações entre conceitos por parte do aluno. Além disso, este tipo de abordagem permite fazer um estudo menos descritivo do Universo e mais interpretativo dos fenómenos físicos associados a essas descrições, tornando possível a apropriação progressiva de certos conceitos científicos a partir de contextos diversificados do quotidiano. O estudo do tema "A exploração do Universo" poderá também permitir uma melhor compreensão do meio em que o aluno está inserido e a abordagem de conteúdos relevantes para o prosseguimento de estudos, nomeadamente no estudo dos tópicos de planetologia e sismologia leccionados na disciplina de Ciências da Terra e da Vida no ensino secundário.

4. O tema permite a reaproximação do conhecimento científico ao conhecimento do quotidiano, mostrando a estreita ligação entre a Física, a Sociedade e a Tecnologia.

5. O tema permite mostrar de que modo os aspectos sociais e históricos influenciam a evolução e construção do conhecimento científico. Através da história das ciências os alunos podem compreender e apreciar as ideias científicas e os problemas encontrados pelos seus pioneiros, trazendo vida ao estudo da ciência. Além disso, o tema também permite mostrar o quanto o ambiente político e social de uma determinada época pode condicionar a evolução da ciência. (Costa, S. 2001)

Todos os aspectos referidos anteriormente são essenciais na promoção de uma formação para a cidadania do aluno.

1.4. Tendências curriculares no ensino das ciências

Nos anos sessenta e setenta a preocupação curricular no âmbito do ensino das ciências focava, quase exclusivamente, a aquisição de conhecimento científico para assegurar a familiarização com ideias e processos próprios da ciência. A partir da década de oitenta, as preocupações curriculares ao nível da escolaridade obrigatória passaram a incluir outros aspectos, tais como:

- i) estudar situações do dia-a-dia do aluno;
- ii) relacionar a ciência com questões sociais e tecnológicas;
- iii) utilizar actividades de resolução de problemas para desenvolver a criatividade e promover a destreza na tomada de decisões;
- iv) promover a auto-estima dos alunos;
- v) ter em conta os conhecimentos e experiências prévias dos alunos. (Iglesia, P. 1997)

O ensino das ciências passou a estar mais centrado no aluno, valorizando-se não só como se ensina mas também como se aprende. Assim, as novas tendências defendem que as aplicações tecnológicas, os fenómenos naturais e os temas sociais devem ser a base da formação científica dos alunos, cabendo ao professor estabelecer a ligação entre o conhecimento científico e as experiências dos alunos. Para além de se aprender ciência, adquirindo e desenvolvendo conhecimento conceptual, é necessário aprender acerca da ciência, tomando consciência da sua natureza e métodos e das complexas relações entre ciência e sociedade. (Hodson, D. 1992)

O currículo de ciências deve ser igual para todos os alunos; mas a ideia de um currículo comum não significa experiências de aprendizagens comuns, idênticos conteúdos, ou as mesmas expectativas de conhecimento e capacidades finais, mas sim uma série de finalidades comuns traduzidos num nível comum de resultados. (Hodson, D. 1993)

É necessário, ainda, mostrar a ciência à população escolar de um modo mais atractivo de modo que esta descubra a novidade e o valor do conhecimento científico. Actualmente defende-se que o ensino da Física deve desenvolver no alunos competências que os ajudem a enfrentar as rápidas transformações que ocorrem na nossa sociedade, no contexto sociocultural e do trabalho. (Iglesia, P. 1997) (Costa, S. 2001)

Para que a Escola consiga dar resposta a estas mudanças tem de ser um sistema dinâmico e flexível que ofereça actividades interessantes e úteis capazes de "educar a inteligência", ou seja, educar os jovens de modo que consigam utilizar a Física e os seus métodos na compreensão do mundo que os rodeia.

Isto implica que há que rever o tipo de conteúdos e métodos utilizados nas actividades escolares ligadas ao ensino da Física, promovendo-se o conhecimento de um tópico, mostrando-se a sua evolução ao longo do tempo, sem se separar o produto final de todo o processo subjacente, e estabelecendo relações entre as múltiplas dimensões do conhecimento.

Ao longo da escolaridade básica devem ser desenvolvidas competências que integrem conhecimentos, capacidades e atitudes para a construção de um saber em acção, promotoras de literacia científica. (Costa, S. 2001)

Actualmente tem-se consciência de que, para ocorrer aprendizagem, é importante reflectir sobre a sequência dos vários conteúdos a leccionar, pois estes não são independentes e não têm o mesmo grau de complexidade. Acredita-se também que determinadas aprendizagens não podem ser adquiridas sem primeiro se abordarem certos conceitos, assim como é importante a quantidade e qualidade das relações que se estabelecem entre os novos conhecimentos e os que os alunos já possuem. Ou seja, sente-se cada vez mais a necessidade de se reflectir sobre a relevância das sequências educativas que se estabelecem, a sua justificação, a sua análise e, consequentemente, a sua revisão. (Hodson, D. 1993)

Continua a existir um núcleo de conteúdos obrigatórios, mas afirma-se que as escolas (através dos professores de cada grupo disciplinar e departamentos) poderão definir não só outras aprendizagens desejáveis mas também o modo de organizar o seu ensino em termos de tempo, espaço e métodos.

Esta descentralização na organização do currículo escolar traduz a opinião de que é fundamental levar os professores a reflectirem e a desenvolverem as melhores estratégias para dar coerência às sequências educativas, originando melhores aprendizagens. (Costa, S. 2001)

A elaboração de uma sequência educativa ajudará os alunos a generalizar as suas aprendizagens decorrentes da análise de contextos concretos, a agarrar os aspectos mais relevantes e a interligá-los. Um ensino dos conceitos e competências desgarrado, não é intelectualmente estimulante e, por outro lado, se os conhecimentos adquiridos não forem estruturados e relacionados, serão facilmente esquecidos. (Pedrinaci, E. 1997)

Também é importante tentar que o aluno estruture o seu conhecimento com base nos conceitos e princípios chave de modo a conseguir aplicá-los em diferentes áreas ou tópicos de ciência.

Por exemplo, a tradicional estrutura do ensino da física é dividida por diferentes áreas: mecânica, electricidade, magnetismo, óptica, etc.; consequentemente, não surpreende que os alunos tenham a sensação de que o conhecimento que adquiriram é uma pilha de tijolos e a tarefa de unir esses tijolos e construir um edifício seja vista por eles com muito receio. (Millar, R.; Osborne, J. 1998) (Bagno, E.; Eylon, B.; Ganiel, U. 2000)

Os alunos possuem também um conjunto prévio de conhecimentos compartimentados sobre ciência, obtidos a partir do cinema, televisão e de outros meios de comunicação. Esta fragmentação do conhecimento não permite a descrição de um grande número de fenómenos através de um pequeno número de Princípios. (Pozo, J. 1997) (Costa, S. 2001)

Vários estudos revelam que as pessoas, ao adquirirem novas informações, estabelecem uma determinada hierarquia, em que as ideias "mais importantes" (às quais é atribuído maior significado) ocupam os níveis mais elevados e as ideias que se encontram em níveis mais baixos são mais rapidamente esquecidas.

Ao longo de um curso de ciências deve promover-se a organização do conhecimento do aluno de modo que os conceitos ocupem progressivamente os níveis mais altos dessa organização, enquanto as ilustrações dos mesmos devem ocupar gradualmente os níveis mais baixos; esta orientação é sugerida para abordagens ao nível universitário. Também ao nível do ensino básico devem-se proporcionar aos alunos sequências de aprendizagens que os conduzam aos conceitos, mas partindo de ilustrações, ou seja, partir do concreto para o abstracto. (Bagno, E.; Eylon, B.; Ganiel, U. 2000)

O que a educação científica deve proporcionar não é informação em excesso, mas o saber seleccioná-la, interpretá-la, organizá-la e dar-lhe sentido. São estas as competências que os alunos vão necessitar como futuros cidadãos, uma vez que a Escola não pode fornecer toda a informação relevante devido à multiplicidade de informação e às mudanças culturais profundas que ocorrem na nossa sociedade. (Pozo, J. 1997) (Costa, S. 2001)

É também necessário promover uma aprendizagem contextualizada que ultrapasse as fronteiras das várias disciplinas e que esteja para além do âmbito do laboratório, criando momentos em que ocorra a integração dos vários fragmentos do saber, estimulando a construção de um saber mais global. (Martins, I.; Veiga, L. 1999) (Pombo, O. 1993)

Actualmente, a Escola não é a primeira nem talvez a principal fonte de informação dos alunos. São várias as fontes de informação a que os alunos têm acesso diariamente e que os conduzem a um estado de saturação informativa. Por isso, os alunos não precisam de procurar a informação, uma vez que esta lhes chega nos mais variados formatos, sendo estes, na maior parte das vezes, muito mais atractivos do que os escolares. (Pozo, J. 1997) (Costa, S. 2001)

Consequentemente, os alunos tendem a possuir informação prévia sobre determinado assunto obtida através de vários meios de comunicação. Contudo, essa informação encontra-se fragmentada, e por vezes, deformada ou mesmo errada. Para a Escola poder competir com os diferentes media pelo interesse dos alunos, é urgente reformular a forma como é apresentada a informação nos meios escolares.

Uma alternativa possível é valorizar o quotidiano do aluno, promovendo um ensino contextualizado. As abordagens contextualizadas são cada vez mais populares pois fornecem aos alunos experiências mais motivantes e apelativas e desempenham um papel essencial na promoção da aprendizagem. (Martins, I.; Veiga, L. 1999) (Ramsden, J. 1997) (Roth, M.; Roychoudhury, J. 1993) (Shymansky, J.; Kyle, W. 1992)

Por outro lado, este tipo de ensino está de acordo com a teoria construtivista da aprendizagem, a qual reconhece que a aprendizagem é favorecida quando o conhecimento abordado tem ligações com as experiências do dia-a-dia do aluno, sendo este levado a construir e a reconstruir as suas representações sobre o mundo que o rodeia. (Wilkinson, J. 1999)

1.5. Abordagem contextualizada

A partir da década de setenta foram surgindo vários cursos que adoptaram uma abordagem contextualizada. Um dos primeiros cursos a adoptar uma abordagem deste tipo foi o projecto holandês PLON ("Projecto de Desenvolvimento Curricular em Física") que utilizava uma abordagem temática. (Lijnse, P.; Kortland, K.; Eijkelhof, H.; Genderen, D.; Hooymayers, H 1990)

Este projecto surgiu para dar resposta à pressão crescente em preparar os alunos para intervirem activamente no debate sobre o impacto da ciência e tecnologia na sociedade, não esquecendo que a disciplina de Física também teria de preparar um pequeno número de estudantes para o prosseguimento de estudos. A estrutura temática utilizada tinha a vantagem de relacionar os conteúdos físicos com o contexto da vida quotidiana e tornava o currículo claramente flexível. O tema a abordar tinha de satisfazer algumas condições:

- i) ser utilizado na vida quotidiana;
- ii) desencadear os mais variados interesses nos alunos;
- iii) apresentar uma visão realista da física;
- iv) preparar os alunos para o prosseguimento de estudos.

(Lijnse, P.; Kortland, K.; Eijkelhof, H.; Genderen, D.; Hooymayers, H 1990)

A partir da década de oitenta surgiram vários tipos de abordagem partindo de contextos. O projecto canadiano denominado por Large-Context-Problem (LCP), e dinamizado por Arthur Stinner, recorria a cenários contextualizados, os quais conduziam a questões e problemas que pareciam ser mais interessantes e motivantes do que os análogos existentes nos manuais escolares tradicionais. Stinner defendia que o currículo de Física devia organizar-se em torno de contextos e problemas vastos que tivessem uma ideia unificadora. (Wilkinson, J. 1999)

Na Escócia, com o objectivo de incrementar a motivação e o interesse dos alunos, desenvolveu-se uma abordagem em que o contexto partia de aplicações tecnológicas conhecidas. Um dos promotores deste projecto, Jim Jardine, denominou este tipo de abordagem por Applications-Led (AL).

Também uma abordagem desenvolvida entre duas instituições do Brasil e do Reino Unido, denominada por event-centred learning, deu ênfase à resolução de problemas do quotidiano, recorrendo aos acontecimentos sociais como fulcro da aprendizagem, tendo por objectivo integrar os conceitos científicos, a tecnologia e os temas sociais.

Uma outra abordagem, a Supported Learning in Physics Project (SLIPP), foi desenvolvida no Reino Unido e resultou da necessidade de contrariar o decréscimo progressivo de alunos nos cursos de Física e da tentativa em dar resposta às preocupações da indústria relativamente à qualidade dos licenciados em Física. (Costa, S. 2001)

Segundo Elizabeth Whitelegg, a finalidade do SLIPP era promover a aprendizagem em contextos do quotidiano para mostrar aos alunos que os conceitos abordados tinham utilidade fora da escola, ou seja, que a compreensão da física permitia compreender como as coisas funcionam na vida real; além disso, este tipo de abordagem permitia apresentar os mesmos conteúdos em diferentes unidades e, consequentemente, permitir a sua aplicação em diferentes contextos. (Wilkinson, J. 1999)

Há mais de trinta anos que Jerome Bruner indicava que a melhor forma de sequenciar os conteúdos a abordar deveria ser em espiral, para que o mesmo conteúdo fosse abordado em diferentes momentos ao longo da escolaridade e com níveis de aprofundamento crescentes. (Pedrinaci, E. 1997)

Tendo por base os diferentes tipos de abordagens contextualizadas atrás referidos, podemos dizer que um contexto pode ser um tema social relevante para o aluno, ou uma situação ou fenómeno que fazem parte do seu quotidiano ou um conjunto de tecnologias que façam parte da sua vida. Podemos dizer que um contexto é uma situação-problema relevante para o aluno.

Mas uma situação-problema não é, necessariamente, um tema, uma situação ou actividade que crie no aluno um desequilíbrio cognitivo. Segundo Stinner, uma situação-problema poderá ser qualquer cenário que capte o interesse e a imaginação do aluno, promovendo o início do processo de pensar. Para Yannis Hadzigeorgiou, o desequilíbrio cognitivo, presente nas estratégias de promoção da mudança conceptual de influência piagetiana, não é o único factor chave envolvido no ensino e aprendizagem da física e é discutível se é a base determinante desse processo. (Stinner, A. 1995) (Hadzigeorgiou, Y. 1999)

Aparentemente é posta em causa a ideia de David Ausubel de que aquilo que o aluno sabe é o factor mais importante da aprendizagem e, por outro lado, que o desequilíbrio cognitivo, que ocorre quando o aluno é sujeito a situações que põem em evidência as contradições existentes entre as suas ideias prévias e o conhecimento científico, é a força motora do desenvolvimento cognitivo.

A ideia de desequilíbrio cognitivo mostrou ser bastante proveitosa na área do ensino da Física, pois revelou ser uma boa estratégia para identificar e desmontar as concepções alternativas dos alunos. Mas o recurso exclusivo a esta abordagem conduz a dois problemas: se a Física fosse apresentada sempre a partir de situações que criassem conflito nos alunos, então muitos dos tópicos não seriam abordados por falta de tempo; e um currículo baseado unicamente na noção de conflito cognitivo pode contribuir para esgotar a fonte da ciência (a curiosidade intelectual), contradizendo a ideia de que todo o conhecimento é a resposta a uma questão.

Assim, é importante evidenciar que o crescimento do conhecimento científico se deve à identificação e resolução de problemas, mas que nem todos eles produzem conflito. É necessário mostrar que muitos dos problemas surgem da curiosidade do ser humano e do seu desejo de ter explicações.

A curiosidade é também referida por Jerome Bruner como sendo a melhor motivação para estimular o pensamento. Não pode haver conhecimento sem mistério, o mistério não é o limite do conhecimento mas o seu espírito. Não existindo mistérios, não pode haver questões. O conhecimento e a pergunta dependem apenas dos mistérios primordiais. Torna-se, por isso, necessário estimular a curiosidade. (Hadzigeorgiou, Y. 1999)

Segundo John Dewey e Philip Phenix, embora seja dito aos professores que devem evitar assuntos estranhos às ideias dos alunos, constata-se que a atenção e imaginação dos alunos são captadas quando se fala de um assunto remoto ou estranho. A curiosidade é mantida através da perplexidade, do duvidoso, do que não é familiar ou próximo dos alunos. Consequentemente, podemos concluir que as situações comuns do dia-a-dia não devem ser exclusivamente a base de um currículo.

No entanto, há que considerar que qualquer tópico usual do dia-a-dia pode incitar a curiosidade do aluno, constituindo um desafio, se o aluno necessitar de o repensar. Philip Phenix afirma que uma das qualidades do bom ensino é comunicar a sensação de espanto para que a aprendizagem se torne uma aventura contínua.

Este tipo de abordagens não contrariam a ideia de David Ausubel, pois as ideias prévias dos alunos serão usadas, posteriormente, para dar sentido ao estranho e não familiar, e o professor ajudará o aluno a reorganizar e estruturar essas ideias de modo a conduzi-lo à aprendizagem dos conceitos. (Hadzigeorgiou, Y. 1999)

Assim, uma situação-problema deverá ser uma situação que constitua um desafio para o aluno, que estimule a sua curiosidade, e esta conduzi-lo-á a uma insatisfação, perplexidade ou confusão, promotoras da mudança conceptual.

1.6. Contextos e organização dos conteúdos

Vários investigadores realçam a utilidade do recurso a contextos nas aulas. Segundo vários investigadores, a utilização de contextos, adequadamente desenvolvidos, estimula e atrai o interesse dos alunos, desempenhando um papel essencial na aprendizagem de itens de ciência. (Stinner, A. 1995)

Também são importantes porque, para além de estabelecerem as ligações entre a Física e o quotidiano, promovem a aprendizagem do mesmo modo que a própria Física é praticada, isto é, num contexto real, tentando compreender o mundo físico e procurando resolver problemas. Os contextos envolvem activamente os alunos no processo de aprendizagem, encorajando-os a colocarem as suas próprias questões relacionadas com as suas experiências. (Roth, M.; Roychoudhury, J. 1993) (Wilkinson, J. 1999)

Um estudo realizado na Austrália revelou que as tarefas de avaliação descontextualizadas apenas encorajavam a memorização de factos e não a sua compreensão. Num estudo posterior, foi concluído que os estudantes de Física realizavam melhor as tarefas incorporadas em contextos, apesar de estas exigirem, por vezes, o aumento da componente verbal das respostas às questões.

Segundo a opinião dos alunos envolvidos neste estudo, o facto de as questões serem apresentadas no formato de um contexto da vida real tornava-as mais interessantes e permitia-lhes imaginar a situação sendo possível, posteriormente, chegar mais facilmente à solução. (Rennie, L.; Parker, L. 1993) (Rennie, L.; Parker, L. 1996)

A abordagem por contextos é uma metodologia onde é fácil fazer uma integração da ciência, da tecnologia e da sociedade. No entanto, há que não esquecer que o uso de contextos pode apresentar dificuldades na sua implementação. Alguns alunos têm frequentemente dificuldade em resolver as questões e os problemas que o contexto em estudo gera, a não ser que previamente possuam conhecimento de alguns conteúdos. (Stinner, A. 1995)

Esta dificuldade pode estar associada ao uso das aplicações como contexto: de facto, a utilização de uma aplicação tecnológica como contexto pode provocar constrangimentos na medida em que normalmente requer um conhecimento prévio do assunto já muito estruturado e, por isso, muitas vezes desenquadrado do nível etário dos alunos.

Outra dificuldade é que a abordagem por contextos dificulta o ensino dos processos inerentes à ciência, pois estes são, habitualmente, apresentados de uma maneira descontextualizada. (Wilkinson, J. 1999)

As abordagens contextualizadas conduzem a uma organização não tradicional dos conteúdos, sendo o contexto que determina os conteúdos a abordar.

Enquanto na abordagem tradicional a ciência é ensinada em primeiro lugar e só mais tarde são abordadas as implicações tecnológicas e sociais, no ensino contextualizado os temas sociais, as aplicações tecnológicas e as situações do quotidiano dos alunos são não só o centro da aprendizagem como a justificação para o estudo de determinados conteúdos. (Wilkinson, J. 1999) (Watts, M.; Alsop, S.; Zylbersztajn, A. 1997)

O ensino contextualizado implica usar o contexto antes do conteúdo para se conduzir o ensino, com os conceitos e as ideias centrais a surgirem do contexto. Tendo por ponto de partida as ideias prévias dos alunos, com este tipo de ensino os alunos acabam por abordar vários conceitos a partir de um contexto da vida real e, consequentemente, a aprendizagem tem mais significado e relevância. Esta abordagem realça que a ciência não é algo que existe apenas numa sala de aula ou nos laboratórios. (Yager, R.; McConnack, A. 1989)

Os professores que, para elaborarem um currículo, centram-se fundamentalmente nos conceitos não os contextualizando, estão a ensinar de um modo mais tradicional, ou seja, esse ensino é feito apenas com algumas referências a conteúdos.

A elaboração de um currículo contextualizado não é o mesmo que incluir algumas aplicações dos conceitos físicos. O termo “aplicações” é usado para descrever a utilização de ilustrações dos conceitos depois de os conteúdos terem sido apreendidos, ou seja, implica uma abordagem prévia dos conceitos.

Uma abordagem contextualizada implica começar com um exemplo relevante da realidade do aluno e depois usar os aspectos dessa realidade como ponto de partida para o ensino dos conceitos. (Wilkinson, J. 1999)

1.7. Curiosidade e imaginação na sala de aula

Para estimular a curiosidade do aluno é necessário, recorrer a situações que constituam um desafio para o seu pensamento. Para que um contexto capte o interesse e a imaginação do aluno, deve ser delineado em torno de uma ideia unificadora. (Stinner, A. 1995)

Por outro lado, deve assegurar-se que os alunos sejam capazes de, no início da abordagem, responder a algumas questões e problemas básicos, assim como se deve prepará-los para encararem, com confiança e entusiasmo, questões às quais não podem responder facilmente.

Os professores podem escolher tópicos a partir dos quais criam contextos e desenvolvê-los em cooperação com os alunos de modo que as questões e problemas surjam naturalmente e integrem várias áreas do currículo. É também importante salientar que os contextos relacionados com temas contemporâneos cativam mais a curiosidade e imaginação dos alunos.

Uma forma de captar a atenção dos alunos é mostrar a ciência a dar respostas, isto é, apresentando-a como um diálogo sobre o mundo e os fenómenos que nos rodeiam e não como um livro acabado que vai sendo lido ao longo das aulas. A apresentação da ciência como pergunta e resposta requer a observação dos acontecimentos que nos rodeiam e a explicação dos mesmos mediante teorias, conduzindo à formação de uma rede de ideias coerentes que permitirão actuar sobre o mundo dos fenómenos. (Millar, R.; Osborne, J. 1998) (Izquierdo, M. 1996)

Outra forma de mostrar a ciência a dar respostas é utilizar histórias explicativas que dêem resposta a questões como, por exemplo: Que idade tem a Terra? E como se conseguiu chegar a esse valor?; ou seja, utilizar a narrativa escrita como forma de comunicar ideias. São várias as razões referidas para a utilização de uma sequência de histórias explicativas na concretização de um currículo:

- i) Elas mostram a ciência como um conjunto de conhecimentos interligados.
- ii) Ajudam a assegurar que as ideias centrais do currículo não são esquecidas em consequência da sua posterior pormenorização. Os alunos e os professores vêem mais claramente para onde as ideias estão a conduzi-los e como estão interligadas.
- iii) As histórias enfatizam que a compreensão da ciência não depende de conceitos individuais, mas de conjuntos de ideias interligadas as quais constituem um referencial para compreender uma dada área. (Millar, R.; Osborne, J. 1998)

As histórias explicativas podem contribuir para mostrar a grande contribuição da ciência para a nossa cultura, mostrando que a ciência nos diz coisas importantes e interessantes acerca de nós próprios e do mundo que nos rodeia e, embora a ciência não tenha respostas para tudo o que queremos saber, oferece-nos um conhecimento em que podemos confiar para a acção. Agindo sobre esse conhecimento os investigadores desenvolveram uma grande variedade de artefactos e produtos que transformaram as nossas vidas. (Millar, R.; Osborne, J., Nott, M. 1998)

Osborne e Millar sugerem a elaboração de histórias explicativas e dão como exemplo, entre vários, para o estudo do universo, histórias que foquem os seguintes aspectos:

- i) movimento da Terra em torno do seu eixo e do Sol e consequências desse movimento;
- ii) a estrutura do Sistema Solar;
- iii) a formação e evolução da Terra;
- iv) a estrutura e evolução do universo (histórias de galáxias em movimento a alta velocidade, o nascimento e morte das estrelas, a origem do universo);
- v) radiação, luz e a sua interacção com a matéria;
- vi) interacções à distância.

Com a finalidade de mostrar a ciência como um elemento chave da nossa cultura poderão ser utilizadas algumas histórias explicativas que relatem casos históricos, ou seja, utilizar histórias explicativas acerca da ciência. (Millar, R.; Osborne, J. 1998) A introdução da história da ciência permitirá mostrar ao aluno:

- i) a ciência como uma construção humana, fruto do trabalho de várias pessoas, em oposição à ideia de uma ciência construída por génios, com um talento inato, auxiliados por alguma inspiração e também pelo acaso;
- ii) as interacções entre a ciência, a tecnologia e a sociedade no presente, mas também ao longo da história;

iii) a existência de grandes crises no desenvolvimento da física e da química, assim como as mudanças que ocorrem dentro de um mesmo paradigma, ou seja, que a história da ciência não é linear nem cumulativa;

iv) o carácter hipotético e temporal do conhecimento, apresentando os limites das teorias, os seus problemas pendentes sem solução, ou seja, que as teorias científicas não são definitivas, evitando a formação de uma imagem dogmática da ciência; por outro lado, é importante mostrar que a maioria das teorias científicas muda, desenvolvendo-se, refinando-se e generalizando-se ao longo do tempo, em vez de serem totalmente rejeitadas;

v) que a ciência não é neutra dependendo, na forma e ritmo da sua construção, de aspectos históricos e sociais de uma dada época. (Solbes, J.; Traver, M. 1996)

Realça-se ainda que, apesar das vicissitudes da sua evolução, a ciência está sujeita a processos de validação pela experiência que lhe dão um grau de confirmação superior a outras formas de conhecimento, evitando-se, assim, a criação de uma mentalidade dominada pelo relativismo total. Os alunos, como cidadãos, devem ser capazes de:

i) compreender os métodos através dos quais a ciência deduz as suas evidências e as exigências feitas pelos cientistas;

ii) apreciar o poder e as limitações dessas evidências;

iii) avaliar com espírito crítico os riscos e as implicações morais e éticas a que as escolhas da ciência nos conduzem. (Millar, R.; Osborne, J., Nott, M. 1998)

O conhecimento das ideias atrás referidas e da natureza social da ciência é essencial para o aluno interpretar as notícias sobre ciência que surgem nos média, formular juízos e tomar decisões relacionadas com a ciência no dia-a-dia. O estudo de uma narrativa histórica que apresente uma controvérsia científica revela-se de um grande interesse didáctico, pois ilustra como aparecem as teorias, apresenta os condicionantes epistemológicos e sociológicos da resistência da comunidade científica em aceitá-las, assim como a sua posterior aceitação e sobrevivência, até serem substituídas por outras com maior poder explicativo. (Millar, R.; Osborne, J. 1998) (Suárez, R. 1996)

Ou seja, o recurso à narrativa histórica pode levar os alunos a verem as dimensões subtis da ciência e a compreenderem as interações da ciência, tecnologia e sociedade, mas também deverão ser apresentadas de modo a permitir envolver a imaginação do aluno para que este dê significado pessoal a essas histórias. (Stinner, A. 1995)

Por outro lado, verifica-se que existe um paralelismo entre algumas das concepções alternativas dos alunos e algumas concepções científicas já abandonadas. A abordagem de casos históricos poderá não só facilitar o diagnóstico das dificuldades dos alunos, como poderá ser utilizada como estratégia para as ultrapassar. (Solbes, J.; Traver, M. 1996)

Para além disto, permite mostrar a dimensão da construção do conhecimento científico, realçando o erro e a incerteza inerentes a esse processo, mas igualmente demonstrar que a construção do conhecimento científico é feita com base na verificação exaustiva (experimental e teórica) e na coerência lógica. (Martins, I.; Veiga, L. 1999)

O recurso a casos históricos revela-se importante, pois permite introduzir os alunos numa cultura de ciência, isto é, na natureza do conhecimento científico, nos processos e valores envolvidos na sua construção.

A utilização da história da ciência na sala de aula poderá contribuir para pôr em evidência a ligação estreita entre a ciência e a cultura (com a literatura, a arte e a religião), mostrando que não é incompatível com nenhuma manifestação cultural mas que, pelo contrário, se influenciam mutuamente. (Izquierdo, M. 1996)

Assim, o objectivo da utilização de histórias explicativas é motivar os alunos para a aprendizagem segundo duas vertentes: a aprendizagem de e acerca da ciência. A utilização de histórias explicativas e casos históricos poderá, ainda, ajudar a concretizar uma das grandes orientações para o ensino das ciências que é o apelo à interdisciplinaridade, pois permite incorporar conhecimentos de diferentes tópicos de Física e de outras áreas, ou seja, promove uma visão holística do saber. (Millar, R.; Osborne, J., Nott, M. 1998)

Uma abordagem temática e contextualizada, recorrendo ao estudo de histórias explicativas, assegura o envolvimento romântico dos alunos com as ideias científicas, sendo este o melhor caminho para mostrar ao aluno que as questões e problemas surgem naturalmente a partir do contexto; os conceitos apresentam-se ligados, numa perspectiva histórica mas, também, científica e tecnológica; e é possível fazer a extensão e generalização de ideias, problemas e conclusões. (Stinner, A. 1995) (Hadzigeorgiou, Y. 1999)

As histórias explicativas apresentam uma nova maneira de conceber a educação em ciência e são fundamentais para a educação no século XXI. No entanto, o estudo de histórias explicativas deverá ser complementado, sempre que possível, com trabalhos práticos ou outras actividades como, por exemplo, simulações computacionais, pesquisa e selecção individual de informação por parte do aluno recorrendo ao CD/DVD educativo e à Internet, evitando a ênfase excessiva nos conteúdos que poderá dar origem a um ensino rígido e transmissivo. (Millar, R.; Osborne, J., Nott, M. 1998) (Hadzigeorgiou, Y. 1999)

1.8. Abordagem humanista da ciência

A ciência é apresentada nas escolas, quase sempre, segundo uma perspectiva positivista como um conjunto de verdades irrevogáveis, onde os dados empíricos conduzem, sem controvérsia, a conclusões concordantes e, conseqüentemente, o conhecimento do professor é considerado inquestionável, inequívoco e incontestado. (Driver, R.; Newton, P; Osborne, J. 2000)

Em particular, os tópicos da disciplina de Ciências Físico-Químicas tendem a ser apresentados de forma definicional e a serem traduzidos o mais possível por uma linguagem simbólica. Assim, promove-se um ensino das ciências em que se apresenta essencialmente a formulação simbólica do produto final resultante da investigação científica. (Stinner, A. 1995)

Pode, assim, veicular-se a imagem da ciência como um livro da natureza lido exclusivamente a partir da observação e da experimentação. A aula de ciências deve estimular o interesse dos alunos por actuar sobre o mundo que os rodeia e a capacidade de formular perguntas sobre ele, mas os métodos utilizados para dar resposta às questões não devem ser apenas de índole experimental mas também de índole linguística. (Izquierdo, M. 1996) (Driver, R.; Newton, P; Osborne, J. 2000)

Os professores menosprezam o desenvolvimento de algumas competências cognitivo-linguísticas como, por exemplo, interpretar textos, descrever fenómenos e ideias, resumir, explicar ou argumentar, embora este tipo de competências seja fundamental na actividade científica. Parece existir uma separação entre as ciências e as humanidades, veiculando-se a imagem de que não existe qualquer relação entre os objectivos de estudo e os métodos utilizados nas duas áreas. (Sanmarti, N. 1997)

Para Elliot Eisner, o cientista, tal como o artista, tem de transformar o conteúdo da sua imaginação em algo público com forma estável, qualquer coisa que possa ser partilhada com outros. É através da linguagem que um cientista reconstrói o seu pensamento e o torna inteligível, transmite as suas hipóteses, interpreta novas evidências à luz de teorias alternativas ou critica a aptidão de um determinado desenho experimental. E a criatividade e a imaginação, características das actividades humanistas, são igualmente fundamentais na construção do conhecimento científico. (Stinner, A. 1995) (Izquierdo, M. 1996) (Driver, R.; Newton, P; Osborne, J. 2000)

Assim, a aprendizagem da ciência passa, também, pela aquisição de formas linguísticas de formalização da cultura científica construída ao longo dos tempos e transmitida através de registos escritos. O professor pode desenvolver nos alunos certas competências cognitivo-linguísticas, recorrendo à leitura de histórias.

Essas histórias podem ser casos históricos, pois estes incorporam os modos científicos e humanistas da construção do conhecimento, mas igualmente histórias contemporâneas retiradas dos média ou escritas pelos próprios alunos e ainda histórias retiradas de livros de divulgação científica. (Stinner, A. 1995) (Sanmarti, N. 1997) (McKeon, F. 2000)

O recurso à leitura de histórias de ciência poderá ajudar os alunos a ultrapassarem um dos grandes obstáculos à compreensão da própria ciência: o conflito entre a linguagem científica e a linguagem corrente. Os textos permitem modelar o uso das palavras, usando-as em contextos adequados e introduzindo o seu significado científico.

Por outro lado, a leitura crítica e reflexiva de histórias poderá levar os alunos a adquirirem critérios de interpretação de um texto, a avaliarem e inferirem relações entre as várias ideias, a detectarem ambiguidades e, conseqüentemente, a questionarem-se e a contra-argumentarem, defendendo as conclusões a que chegaram. (Millar, R.; Osborne, J., Nott, M. 1998) (Stinner, A. 1995) (McKeon, F. 2000)

As histórias podem, assim, constituir o ponto de partida para as questões científicas dos alunos, para a discussão de temas ou fornecer o contexto para posteriores investigações. Ou seja, as histórias podem levar os alunos a ter um papel activo na sua aprendizagem, dando voz às suas ideias e permitindo a exploração das mesmas através da discussão e da argumentação. (McKeon, F. 2000)

A expressão oral e escrita das ideias por parte dos alunos, resultante de debates com os seus colegas e professor ou da análise de textos, desempenham também um papel muito importante na sua aprendizagem da ciência, pois permite-lhes adequar, progressivamente, formas diferentes de compreender o mundo às explicações científicas, ou seja, formular, reformular e atingir o limite da sua compreensão das ideias científicas.

A expressão escrita é o principal meio de aprender ideias e a sua utilização não deverá resumir-se a uma forma de produção de registos descritivos sobre os trabalhos realizados. (Millar, R.; Osborne, J., Nott, M. 1998) (Sanmarti, N. 1997) (McKeon, F. 2000)

Assim, um ensino humanista das ciências permite socializar os alunos com as práticas discursivas utilizadas na investigação científica, mostrar igualmente o carácter criativo e dinâmico da construção e evolução do conhecimento científico, desenvolvendo nos alunos competências epistemológicas.

Permite ainda o desenvolvimento de competências comunicacionais (compreendendo a linguagem científica, relatando, lendo e argumentando informação científica) e competências éticas (conhecendo normas, reflectindo sobre elas, desenvolvendo hierarquias de valores, prevendo consequências pessoais, sociais e ambientais decorrentes do desenvolvimento científico e tecnológico). O desenvolvimento das competências anteriores está de acordo com as novas orientações preconizadas para a educação em ciências no ensino básico. (Costa, S. 2001)

2. E-learning na formação

2.1. Introdução

A oferta de formação na área da Astronomia por parte dos Centros de Formação é muito escassa. A escassez de oferta terá, origem em razões de vária ordem, que irão desde a falta de formadores qualificados até à ausência de um número significativo de formandos interessados em essa formação, passando por opções que são anualmente assumidas pelas Comissões Pedagógicas dos Centros de Formação.

Um dos critérios que se apresenta como relevante no processo de disponibilização da oferta de formação por parte dos Centros de Formação diz respeito ao potencial público-alvo e às suas necessidades de formação. Sendo necessário um número mínimo de participantes para que a acção se realize, esta condição não é muitas vezes cumprida. (Melo, R. 2005)

No entanto, existe um vasto número de alunos e de docentes de Ciências que carece de formação ou com interesse em aprofundar os seus conhecimentos em Astronomia, mas que se encontra disseminado por todo o país e com dificuldade em estabelecer contacto entre si.

O recurso ao e-learning, apresenta-se assim como uma opção a ter em conta para superar a distância que separa os intervenientes, uma vez que, pela sua ubiquidade, a Internet permite-nos aceder a um público alargado sem limitações espaço-temporais, através das ferramentas de comunicação síncronas e assíncronas presentes na Internet, é possível disponibilizar-lhes de forma eficaz e efectiva, formação e informação na sua área de interesse. (Melo, R. 2005)

O verdadeiro potencial das tecnologias da informação ainda está por explorar, para isso é necessário assegurar o acesso universal à literacia digital, garantir que os formadores estejam adequadamente equipados tanto de conhecimentos como de ferramentas para a sua transmissão. Estes desafios só podem ser superados com sucesso mediante uma união de força entre o empreendimento público e o privado. A chave do sucesso será parceria, aliança e vontade de explorar a fundo as novas tecnologias da comunicação. (Araújo, A. 2005)

2.2. Ensino presencial

O ensino presencial insere-se no modelo tradicional de educação e representa o ensino cara-a-cara típico que se observa na sala de aula: o professor e os alunos estão presentes fisicamente no mesmo local, a uma hora pré-determinada, para a realização da aula. O ambiente educacional caracteriza-se, genericamente, por um conjunto de particularidades: (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

- i) O professor e os alunos estão localizados no mesmo espaço e no mesmo tempo.
- ii) O ensino é ministrado pelo professor: o professor transmite informação e conhecimento dirigindo-se, em simultâneo, a toda a classe; o ensino individualizado ou orientado a pequenos grupos ocorre com menos frequência, pois a aula decorre no mesmo período de tempo para todos os alunos. (Chute, A.; Thomson, M.; Hancock, B. 1999) (Khan, B. 1997)
- iii) Os alunos escutam, aceitam ou discutem o conhecimento fornecido pelo professor.
- iv) A gestão do tempo da aula é determinada pelo professor, que é o responsável por estruturar a sequência dos conteúdos a leccionar e das actividades a realizar. (Khan, B. 1997)
- v) O professor aplica técnicas de entoação de voz e expressões corporais (gestos, movimentos dos olhos, expressões da face) para salientar conceitos importantes. Por vezes, emprega meios tecnológicos como diapositivos, vídeos, enciclopédias electrónicas e visitas a endereços na Internet, que o apoiam na divulgação da informação e do conhecimento. (Moore, M.; Thomson, M. 1997)
- vi) A motivação e o interesse dos alunos, pelo conteúdo que está a ser leccionado, são percebidos pelo professor através dos indicadores emitidos pelos alunos (expressão facial, posição do corpo, inquietação na forma de estar). Habitualmente o professor reage a estes indicadores de forma imediata e instantânea procurando transmitir a informação de forma mais clara ou mais atractiva.
- vii) Os alunos são predominantemente crianças, adolescentes e jovens, com idade inferior a 25 anos, a frequentar a escolaridade formal. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

O ensino presencial continuará a ser apropriado e necessário, para leccionar determinados conteúdos e para algumas camadas da população de estudantes. Salienta-se em particular, os alunos que não têm maturidade e motivação suficientes para se responsabilizarem pela auto-formação. No entanto, o ensino presencial deverá ser complementado com outros formatos de instrução alternativos. (Chute, A.; Thomson, M.; Hancock, B. 1999)

2.3. Ensino a distância

O ensino a distância é um modelo educacional que proporciona a aprendizagem sem as limitações do espaço e do tempo. O cenário educacional pressupõe a existência de uma separação geográfica ou temporal entre professor e alunos, a utilização da tecnologia como instrumento de distribuição (excepto nos cursos por correspondência) e de comunicação educacional e o controlo da aprendizagem pelo aluno. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

O ensino a distância tem como objectivo promover a educação nos locais e nos horários mais convenientes para o aluno destinando-se essencialmente a adultos, dotados de maturidade e motivação suficientes para imporem a si próprios um regime de auto-aprendizagem. (Moore, M.; Kearsley, G. 1996)

Ao longo da história do ensino a distância, o termo "distância" tem sido alvo de numerosas discussões, e outras designações similares como "educação a distância", "aprendizagem a distancia", "teleformação" e "teleensino", têm sido aplicadas por diferentes autores e instituições para descrever modelos de ensino-aprendizagem a distância. Coligindo as ideias de todos, é possível assinalar as principais características do ensino a distância: (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

- i) Normalmente o professor e os alunos estão separados no espaço ou no tempo. O professor está separado dos alunos e, por sua vez, cada aluno também pode estar separado do restante grupo de aprendizagem.
- ii) A distribuição da informação, a comunicação entre o professor e o aluno e entre os alunos é mediada por meios técnicos. Estando o professor e os alunos separados no espaço ou no tempo é necessário introduzir meios de comunicação artificiais, suportados nas tecnologias de comunicação e informação, que permitam distribuir a informação e que sustentem mecanismos de interacção entre os dois grupos de intervenientes.
- iii) O processo de ensino é proporcionado pela instituição de ensino ou formação e integra o trabalho de uma equipa que abrange vários domínios de conhecimento (professores, designers, técnicos e administradores). O design, a distribuição e o apoio ao aluno requerem esforços conjuntos de uma equipa de especialistas, designadamente professores, designers, técnicos e administradores, ficando os actos de ensino subdivididos em várias partes constituintes.

iv) O controlo do itinerário da aprendizagem (conteúdo, tempo de estudo e ritmo) é decidido pelo aluno. A responsabilidade do controlo da aprendizagem é delegada ao aluno cabendo a este decidir os conteúdos a estudar, o tempo a dedicar ao estudo e o ritmo de aprendizagem.

v) A maioria dos alunos são adultos com mais de 25 anos, emprego a tempo inteiro e com um elevado grau de motivação, que procuram alternativas de formação profissional. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

2.4. Ensino distribuído

O ensino distribuído utiliza uma grande variedade de tecnologias na disponibilização de oportunidades de aprendizagem centradas no aluno e independentes do local e da hora. Pode ser enquadrado como ensino a distância ou como complemento do ensino presencial, tornando-o mais abrangente. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

No ensino a distância tradicional, que predominou até meados da década de 1990; os principais mecanismos de distribuição eram a rádio, a televisão, as cassetes de áudio e de vídeo, as aplicações educacionais e o envio de documentos por correspondência. Os cursos produzidos faziam uma réplica do ensino presencial — a transmissão de conhecimento, quebrando as barreiras do espaço e do tempo — e contemplavam eventuais contactos por telefone, correspondência ou correio electrónico entre o aluno e o professor ou o formador do curso. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003) (Chaloupka, M.; Koppi, T. 1998)

Com a emergência da sociedade da informação e do conhecimento, a Internet e a Web rapidamente se tornaram num meio de distribuição atraente, com potencialidades para:

i) Dar informação a um grande número de pessoas em todo o mundo.

ii) Distribuir e actualizar informação rapidamente.

(Chute, A.; Thomson, M.; Hancock, B. 1999)

iii) Flexibilizar o acesso aos materiais de aprendizagem.

iv) Criar novos tipos de mensagens e possibilitar novas formas de expressão, nomeadamente com o recurso a multimédia.

v) Criar comunidades de aprendizagem virtuais com meios de comunicação síncronos e assíncronos, que incentivam a partilha de ideias e de experiências educacionais.

(Lima, J.; Capitão, Z. 2003) (Khan, B. 1997)

vi) Implantar métodos construtivistas com situações problemáticas do mundo real.

vii) Dar apoio na aprendizagem, nomeadamente na orientação de ideias e no modo como o aluno conduz a sua aprendizagem, através de meios de comunicação como correio electrónico, chat ou grupos de discussão. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

As potencialidades descritas permitiram a transformação do ensino a distância tradicional no novo paradigma educacional, o ensino distribuído. A constituição deste novo modelo educacional obrigou à reformulação de três conceitos importantes: o papel dos professores e as noções de espaço e de tempo.

- i) Professor - O ensino distribuído transforma o papel dos professores em facilitadores da aprendizagem, conselheiros e gestores, porque a aprendizagem é centrada no aluno, em detrimento da centralização no professor.
- ii) Espaço - Uma classe é constituída por uma comunidade virtual de alunos; a localização geográfica dos participantes (professores, alunos, etc.) e dos recursos de aprendizagem são irrelevantes.
- iii) Tempo - Os recursos de aprendizagem (conteúdos e meios de comunicação) estão sempre disponíveis. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003) (Chaloupka, M.; Koppi, T. 1998)

Tal como no ensino a distância tradicional, a responsabilidade e o controlo da aprendizagem pelo aluno é um conceito presente no ensino distribuído. Além da influência no ensino a distância, o ensino distribuído também exerceu influência no ensino presencial. Em seguida identificam-se, algumas formas novas de expressão deste novo modelo pedagógico no ensino presencial:

- i) Fontes de conhecimento na Web, sob a forma de hiperligações para especialistas e projectos de investigação, complementam a informação fornecida pelo professor e livros.
- ii) Formação de comunidades virtuais apetrechadas com mecanismos de interacção que complementam as relações cara-a-cara na sala de aula; por outro lado, as comunidades virtuais podem ser abertas a outros agentes educacionais da sociedade como é o caso da família (por exemplo, conferências virtuais entre o encarregado de educação e o professor podem evitar deslocações do encarregado de educação ao estabelecimento de ensino).
- iii) Criação de ambientes sintéticos com simulações e realidade virtual, que implementem experiências do mundo real. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Estas novas formas de expressão da utilização da Web no apoio à educação na sala de aula podem ser classificadas em três formas:

- i) Web como ferramenta que traz o mundo à sala de aula. Os professores podem disponibilizar na Web as principais fontes de informação e os principais grupos de discussão sobre os assuntos que estão a leccionar.
- ii) Web como ferramenta que apoia actividades na sala de aula. A Web pode ser utilizada como plataforma tecnológica para disponibilizar aos alunos os conteúdos das aulas e para apoiar as actividades a desenvolver dentro e fora das aulas.
- iii) Web como ferramenta que abre a sala de aula ao mundo. Os artigos e projectos realizados pelos alunos ou pelos professores podem ser disponibilizados na Web, constituindo uma fonte de informação acessível por outros alunos, outros professores e por toda a comunidade do ciberespaço. (Khan, B. 1997)

2.5. Conceito de e-learning

A partir do final da década de 1990, o mercado empresarial tem vindo a adicionar a letra “e” a um conjunto de palavras como, por exemplo, e-commerce, e-business, e-shopping, e-transactions, e-learning, etc. Enfim, o “e” passou a ser indissociável da era digital. Mas o que significa o “e” no e-learning? Literalmente, designa tudo o que é electrónico. Mas também significa era digital e Internet. Existem três dimensões para o significado da letra “e”:

- i) Experiência. Aumentar o envolvimento e a experiência dos alunos na aprendizagem, disponibilizando opções de aprendizagem independentes do local e do instante, e mecanismos de comunicação em rede.
- ii) Extensão. Disponibilizar um conjunto de opções de aprendizagem, a fim de alicerçar a perspectiva do aluno num “processo” e não apenas num “evento”.
- iii) Expansão. Oportunidade de expandir a aprendizagem para além das limitações da sala de aula tradicional (acesso global a um número ilimitado de tópicos). (Rosenberg, M. 2001)

A dimensão da Experiência no e-learning endereça factores como envolvimento, simulação, prática e interacção social. Por isso, reunir conteúdos impressos e passá-los para formato HTML (HiperText Markup Language - Linguagem de Marcação de Hipertexto) não é a forma mais adequada de se fazer e-learning. (Rosenberg, M. 2001)

Interessa clarificar o conceito de e-learning, uma vez que os termos e-learning, educação online, formação à distância via Internet são utilizados muitas vezes de uma forma indiferenciada e como querendo dizer mais ou menos o mesmo. Embora todos eles impliquem uma mediação tecnológica, não significam exactamente o mesmo e podem ter diferentes pressupostos.

O termo formação à distância, tal como educação à distância, pressupõe uma componente significativa de auto-aprendizagem, decorrente do trabalho individual do estudante fora de uma sala de aula e da presença do professor. Nesta perspectiva, a Internet é vista como fonte suplementar de informação e veículo de comunicação. Assim, o termo formação à distância via Internet pode ser considerado como uma versão tecnológica e melhorada do modelo da formação à distância tradicional. (Trindade, A. 2001)

No entanto, a educação online é um novo domínio de aprendizagem que se caracteriza pela sua interactividade, baseada num modelo de comunicação assíncrona de muitos para muitos, e ao contrário dos modelos tradicionais de formação à distância, este é um espaço privilegiado para desenvolver actividades de aprendizagem colaborativa. (Harasim, L. 1989)

O e-learning é um modelo de ensino aprendizagem aberto, mediado pela tecnologia e suportado por redes de comunicação com elevados níveis de liberdade para os aprendentes, em regime total ou parcialmente à distância. (Held, P. 2001)

Assim, o e-learning pode ser considerado como, um modelo de ensino e aprendizagem suportado pelas tecnologias disponíveis na Internet que engloba um conjunto de soluções que facilitam a construção de conhecimento. Esta construção de conhecimento assenta em modelos de comunicação preferencialmente assíncrona tendo subjacentes modelos construtivistas de aprendizagem colaborativa. (Melo, R. 2005)

Nesta perspectiva, o e-learning tem uma abrangência um pouco mais restrita que o ensino a distância porque não abrange os cursos por correspondência, as cassetes de áudio e de vídeo, a televisão, e outras tecnologias restritas à “distância”. Por isso, poderá afirmar-se que o e-learning é uma forma de ensino a distância, mas ensino a distância não é necessariamente e-learning. (Rosenberg, M. 2001)

Não existe uma aceitação universal para a definição do termo e-learning. É credível que a definição mais correcta resulte da confluência das visões predominantes. Teoricamente, o e-learning representa qualquer tipo de aprendizagem que tenha subjacente uma rede Internet, Intranet (LAN) ou Extranet (WAN), para a distribuição de conteúdos, a interacção social e o apoio na aprendizagem; além disso, os conteúdos de aprendizagem, os e-conteúdos, são interactivos e em formato multimédia.

É frequente empregarem-se vários nomes - “e-learning”, “aprendizagem baseada na Web” (web-based learning), “aprendizagem baseada na Internet” (internet-based learning), “aprendizagem em linha” (online learning), “ensino distribuído” (distributed learning), entre outros - para designar sistemas de aprendizagem distribuída, aberta e flexível. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Na prática, o e-learning é qualquer experiência de aprendizagem distribuída via Internet, Intranet, Extranet, CD ou DVD-ROM, pois o fundamental do e-learning não é a tecnologia mas sim a forma de ensinar. Embora o e-learning combine tecnologia e pedagogia, o importante é a experiência vivida pelo aluno na aprendizagem. Além disso, nem todo o tipo de conteúdos requer interacção social.

Em suma, o e-learning alterou a forma de encarar a aprendizagem a distância e tornou-se o paradigma de aprendizagem dominante, embora algumas instituições de ensino e formação estejam apenas preocupadas com a componente da “distância”. São desejáveis e-conteúdos interactivos, de qualidade, e em formato multimédia. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

2.6. Forças que impulsionaram o e-learning

As forças que impulsionaram o e-learning resultaram de aspectos tecnológicos, económicos, demográficos e sociais.

i) Revolução tecnológica dos PCs e da Internet. A omnipresença dos PCs nos lares, nas instituições e nas empresas, e a explosão da Internet modificaram os hábitos das pessoas e alteraram radicalmente os modos de trabalhar, de comunicar, de investigar, de fazer negócios e, até mesmo, o modo como gostam de ocupar os seus tempos livres (navegar na Internet, conferência em tempo real com amigos “virtuais”, etc.). A sociedade evoluiu para uma sociedade baseada no domínio da informação e do conhecimento e suportada por redes digitais. (Missão para a sociedade da informação 1997)

ii) Globalização da economia. Com a revolução tecnológica dos PCs e da Internet, a globalização da economia e a concorrência à escala planetária tornou-se uma realidade inegável. Para responder aos desafios da concorrência, as empresas e as organizações requerem recursos humanos com habilitações e qualificações profissionais para trabalhar em equipa, que saibam pesquisar, analisar e tratar informação, que apresentem reflexão crítica e ideias empreendedoras, que sejam polivalentes, e que manifestem predisposição para a mobilidade e integração em modelos organizacionais flexíveis.

Além disso, pretendem que os recursos humanos se envolvam numa aprendizagem contínua de novos conhecimentos e aptidões e de formas mais rápidas e eficazes de aceder, de processar informação e de gerar conhecimento. Cientes de que a competitividade de uma empresa depende cada vez mais do desempenho qualificado dos seus recursos humanos, muitas empresas estão constantemente a explorar novos avanços tecnológicos e a disponibilizar formação profissional, no sentido de formar mais rápida e efectivamente os seus colaboradores.

iii) Mudança de paradigma na forma como a aprendizagem é vista (processo contínuo em vez de um evento temporariamente limitado). O tempo de vida do conhecimento e das aptidões profissionais é hoje mais pequeno do que outrora. Os quatro anos de graduação num curso superior são apenas o começo de quarenta anos de educação contínua. A aprendizagem ao longo da vida tornou-se num imperativo para assegurar actualização científica e tecnológica. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

iv) Mudanças demográficas e sociais no ensino. Aumento do número de alunos com mais de 25 anos que frequentam instituições de ensino superior. Este novo grupo de alunos adultos são trabalhadores-estudantes, requerem um horário flexível em regime pós-laboral e procuram educação numa perspectiva de melhorar a sua carreira profissional. Começam também a aparecer os alunos seniores, aposentados que ocupam o tempo investindo na formação científica ou humanística.

v) Formação profissional. Num mundo globalizado a evolução tecnológica é exponencial. Para conseguir técnicos e operadores capazes de usar e manter os equipamentos de crescente sofisticação o e-learning está muito bem posicionado, pois o próprio fabricante de equipamentos tem interesse em proporcionar esse treino, normalmente como uma forma adicional de rendimento, por exemplo, através de cursos de certificação. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

2.7. Sistemas multimédia

Os novos sistemas multimédia interactivos vêm acrescentar novos problemas às tarefas de instrução e ensino-aprendizagem. A introdução de múltiplos media numa mesma aplicação possibilita que seja apresentada simultaneamente ao leitor informação textual, visual e sonora. E cada um desses tipos de informação possui características próprias.

Em primeiro lugar, a informação pictórica possui características bem diferentes da informação sonora e textual. Enquanto esta é, na sua forma, necessariamente linear ou sequencial, a primeira é não-linear. Assim, a informação pictórica está associada a um processamento holístico da informação e a informação sonora e textual encontra-se mais associada a um processamento sequencial da informação. (Caldeira, P. 1998)

Em segundo lugar, o som e a imagem possuem a propriedade de poderem ser apresentados simultaneamente, o que introduz novos problemas na interacção Homem-Computador. A simultaneidade na apresentação de informação pictórica e sonora/textual deve ser realizada de tal modo que:

- i) A apresentação da informação não exceda as capacidades de processamento de informação dos sujeitos humanos;
 - ii) Os diversos tipos de informação não colidam uns com os outros, e, pelo contrário, se reforcem mutuamente;
 - iii) O utilizador possua verdadeiras formas de interactividade com o sistema.
- (Caldeira, P. 1998) (Blattner M.; Dannenberg R. 1992)

Em relação aos sistemas previamente existentes, baseados no texto e na imagem estática, nos sistemas multimédia há o uso crescente do som e da imagem dinâmica. Multimédia é uma palavra usada para a integração de elementos diferentes como o texto, vídeo, fotografias e som numa única aplicação. Nos sistemas multimédia há, entre outros: (Caldeira, P. 1998)

- i) Um uso crescente de material pictórico e áudio. O texto é substituído pelo som e pela imagem, estática ou dinâmica, e pelos gráficos.
- ii) Uma crescente compactação dos sistemas. A manipulação simultânea de som e imagem, que inicialmente só era possível em grandes sistemas, passou a ser possível também nos pequenos, através da rápida evolução no campo da velocidade de processamento em unidades cada vez mais pequenas e do aumento da capacidade de memória dos pequenos sistemas.
- iii) Um aumento do controlo por parte do utilizador.

A introdução desses novos elementos, em conjugação com os já existentes (texto, imagem parada e gráficos), traz novos problemas à interacção Homem-Computador. Problemas esses que residem essencialmente em dois pontos: saber qual a mistura de informação (pictórica versus sonora/textual) mais eficaz para o desempenho das tarefas pretendidas e que proporcione maior satisfação aos seus utilizadores; e otimizar a informação a apresentar face às competências e capacidades de processamento de informação dos utilizadores finais. (Caldeira, P. 1998)

Uma das dificuldades na concepção de interfaces multimédia é o uso de várias formas de apresentação de informação, como empregar vantajosamente os diferentes media e como múltiplos media podem reforçar-se uns aos outros. (Blattner M.; Dannenberg R. 1992)

A incorporação de áudio, vídeo e animação nos sistemas informáticos apresenta novos desafios para a construção de documentos porque envolvem o tempo, transformando a interacção em conversação, envolvendo mais o utilizador, dando-lhe um papel mais activo e dinâmico. Mas deve colocar-se uma precaução: uma apresentação dinâmica não garante um utilizador dinâmico, mas continua-se a acreditar que a multimédia é inerentemente motivador. (Blattner M.; Dannenberg R. 1992) (Laurel, B. 1996)

2.8. Modelo conceptual e dimensões de um ambiente e-learning

Os avanços das tecnologias de informação e de comunicação, nomeadamente a Internet e os serviços a ela associados, e os novos desenvolvimentos na ciência da aprendizagem providenciam oportunidades para desenvolver ambientes de aprendizagem distribuídos, centrados no aluno, interactivos e fáceis de utilizar.

O modelo conceptual de um ambiente ideal de e-learning é similar ao modelo utilizado nos centros de atendimento a clientes para as áreas de vendas. Tal como nos clientes, satisfazer as necessidades dos alunos é garantir a chave para o sucesso. Por isso, o aluno é colocado no centro das experiências educativas e a circundá-lo existe uma grande variedade de recursos.

Esses recursos incluem Internet e Web, correio electrónico, grupos de discussão, conteúdos de aprendizagem, professores, outros colegas, mecanismos de avaliação, projectos dos alunos, biblioteca digital e outras comunidades de aprendizagem. Muitos outros itens poderiam ser adicionados como é o caso do chat, da videoconferência, etc., dependendo das necessidades manifestadas pelos alunos e dos objectivos que se pretendam alcançar. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Sendo a aprendizagem uma actividade intelectual e social, os alunos devem dispor de formas de comunicação assíncronas (correio electrónico, grupos de discussão) e síncronas (chat, videoconferência) para interagir com professores ou formadores, outros alunos e especialistas, sobre diferentes perspectivas acerca de determinado conteúdo temático.

Alguns alunos, principalmente aqueles que são tímidos e reflexivos, preferem as comunicações assíncronas pois dispõem de mais tempo para reflectir, pesquisar informação e compor a mensagem, revelando e clarificando os aspectos que consideram importantes. Este factor também é particularmente importante para os alunos trabalhadores-estudantes.

Além dos aspectos pedagógicos acima enunciados há um conjunto inumerável de factores que ajudam a criar um bom ambiente de aprendizagem. Alguns interrelacionam-se, outros são independentes, podendo ser agrupados em oito dimensões: pedagógica, técnica, desenho da interface, avaliação, gestão, apoio ao aluno, ética e institucional. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

i) A dimensão pedagógica do e-learning refere-se ao ensino e à aprendizagem. Endereça factores como objectivos, audiência, conteúdos, abordagem pedagógica, organização dos conteúdos, métodos e estratégias, e meios tecnológicos.

ii) A dimensão técnica do modelo corresponde à análise da infra-estrutura necessária ao ambiente de aprendizagem. Inclui o planeamento da infra-estrutura, o equipamento (hardware) e as aplicações (software).

- iii) O desenho da interface refere-se a todo o aspecto do ambiente de aprendizagem, designadamente desenho da página e do website, desenho dos conteúdos, navegação e usabilidade.
- iv) A avaliação inclui não só a avaliação dos alunos, mas também a avaliação da instrução e do ambiente de aprendizagem.
- v) A gestão refere-se à manutenção do ambiente de aprendizagem e à distribuição de informação.
- vi) A dimensão do apoio pedagógico endereça uma análise cuidada ao apoio em linha (didático e técnico) e aos recursos (online e offline) que são requeridos para fomentar a aprendizagem.
- vii) As considerações éticas do e-learning referem-se a factores relacionados com a diversidade social e cultural, diversidade geográfica, diversidade de alunos, acessibilidade da informação, etiqueta e legalidade (por exemplo, privacidade, plágio, direitos de autor).
- viii) A dimensão institucional engloba serviços administrativos e académicos (admissões, emissão de certificados, marketing) e serviços de apoio ao aluno (pré-inscrição, informações acerca do programa do curso, registo, pagamentos, biblioteca digital).
(Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Há ainda a acrescentar que a produção de conteúdos deve ser assegurada por um conjunto de especialistas de vários domínios de conhecimento a trabalhar em equipa. Os diversos elementos da equipa devem contribuir com o seu conhecimento, na respectiva área de especialização, para produzir um curso homogéneo e centrado nas necessidades dos alunos.

2.9. Formação de comunidades de aprendizagem

É necessário intervir num conjunto de áreas para tirar todo o partido das potencialidades que este modelo de formação encerra e aumentar a sua eficácia, reduzindo deste modo algumas das dificuldades que se fazem sentir na formação online. O incremento das interacções entre os participantes, a qualidade dos conteúdos, a metodologia adoptada e a formação de formadores são elementos primordiais neste processo. (Melo, R. 2005)

A principal característica deste meio de formação, é ser um meio de comunicação de muitos para muitos, independente do tempo e do espaço, ou seja, assíncrona. O facto deste modelo de formação estar assente em modelos de comunicação assíncrona, de muitos para muitos, torna-o completamente distinto, uma vez que, podendo ocorrer situações de comunicação e interacção de muitos para muitos em situações de formação presencial estas estão dependentes de um determinado espaço e tempo comuns a todos os participantes, sendo por isso síncronas. (Harasim, L. 1989)

O sucesso de um curso online depende de três tipos de interacção; interacção entre os formandos, com o formador e com os conteúdos e é no decorrer destas interacções que a informação se torna significativa. Estas interacções, para além de contribuírem para a construção de conhecimento, estão na base da formação de comunidades de aprendizagem. (Ragan, L. 1999) (Swan, K. 2002)

O conceito de comunidades de aprendizagem corresponde a grupos de indivíduos que estão colectiva e intencionalmente comprometidos na construção e na transformação de conhecimento. Uma vez que estes indivíduos estão geograficamente distribuídos, a comunidade é suportada por redes de computadores, neste caso a world wide web, com recurso ao conjunto de serviços suportados pela Internet.

Algumas das características destas comunidades são, a interacção social e a identificação com o grupo, que, movidas por um sentimento de pertença e união, promovem a pesquisa, a partilha de recursos, a interpretação e discussão e a avaliação crítica dos trabalhos dos colegas contribuindo para a construção de novos conhecimentos com base numa aprendizagem colaborativa. (Melo, R. 2005)

2.10. Vantagens do e-learning

Na literatura do e-learning são inúmeros os benefícios e poucos os inconvenientes apontados por todos aqueles que o estudam. De um modo geral é possível identificar um conjunto de vantagens e desvantagens para o aluno, para o professor e para a instituição de ensino ou formação. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

O e-learning permite um acesso universal e o aumento da equidade social e do pluralismo no acesso à educação e a fontes de conhecimento. Mas as principais vantagens da utilização do e-learning residem no facto do e-learning permitir maior disponibilidade, ritmos de estudo diferenciados, repetições sucessivas, podendo-se conciliar a aprendizagem e a auto-aprendizagem com a actividade profissional e a vida familiar. (Araújo, A. 2005) (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

O e-learning permite eliminar barreiras de espaço e tempo resolvendo os problemas de dispersão geográfica e disponibilidade dos alunos. Fomentar aquisição contínua de conhecimentos, de forma a fazer face a novas competências pessoais e profissionais, optimizando os recursos com redução significativa de custos de formação especialmente em tempo, viagens e estadias. (Santos, A. 2000) (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Uma das vantagens da sala de aula virtual é o formador poder obter informação sobre o estado do estudante em qualquer altura, outra vantagem é exercícios, exemplos, e leituras na Internet poderem ser facilmente ligados para serem usados conforme as necessidades do estudante. Os estudantes podem ter o seu próprio horário na sala de aula, assim como um acesso facilitado aos materiais leccionados no caso da adição de novos estudantes. (Araújo, A. 2005) (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Com o aumento da qualidade da compressão dos vídeos e da expansão do acesso à internet por banda larga, a educação a distância pode ser uma prática educativa real em comunidades onde estabelecimentos de ensino tradicionais não existem. O recurso ao e-learning permite o acesso a uma audiência muito maior do que a educação tradicional. (Araújo, A. 2005)

A utilização de um fórum de discussão favorece a interacção entre alunos e formador, permitindo que os alunos coloquem questões a qualquer altura e que elas lhes sejam respondidas rapidamente, tanto por colegas como pelo formador, para além das respostas poderem ser lidas por outros alunos com questões semelhantes.

Permite ao formador seguir a evolução dos alunos, ajuda a manter a discussão no caminho certo, para além de dar tempo aos alunos para formular questões e respostas. O fórum é um bom meio para variar a apresentação da informação, e pode ajudar a ultrapassar o isolamento dos alunos facilitando o convívio social entre colegas. (Araújo, A. 2005) (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

No entanto, impõe-se considerar que não é a tecnologia em si a fonte da vantagem educacional do e-learning, mas sim a aplicação criativa e inteligente que lhe é dada pela colaboração mútua dos recursos humanos. A enorme comunidade de utilizadores da Internet proporciona um elevado potencial e que se pode traduzir na possibilidade de acesso a um oceano de informação disponível, à pesquisa de uma dada área do conhecimento e à possibilidade de comunicação com os demais utilizadores da rede. (Gouveia, L. 1997) (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

A utilização do e-learning permite beneficiar da colaboração com organizações internacionais. Os intervenientes podem trabalhar, aprender e cooperar com organizações internacionais e, simultaneamente, partilhar experiências com culturas diferentes. A instituição de ensino ou formação tem a oportunidade de desenvolver programas com qualidade elevada, centrados nas necessidades dos alunos: flexibilidade no acesso, variedade de estratégias pedagógicas e sistema de apoio à aprendizagem. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

O e-learning é barato, não só pelo seu fácil acesso mas também porque é fácil criar informação e colocá-la à disposição na internet. Permite o acesso a materiais didácticos sem custos e que um elevado e diversificado número de estudantes tenham acesso a experiências educativas que podem ser repetidas inúmeras vezes.

Permite construir um repositório de estratégias pedagógicas e de recursos didácticos, possibilita a reutilização e actualização de conteúdos, fornece oportunidades de aprendizagem com qualidade elevada e os custos da infra-estrutura física são eliminados ou reduzidos. As organizações podem contratar um pequeno número de especialistas, para elaborarem materiais didácticos padronizados que serão utilizados por uma vasta audiência, reduzindo drasticamente os custos. Os materiais didácticos podem ser facilmente adaptados, actualizados e distribuídos, o que se traduz numa maior rentabilização dos recursos. (Schank, R. 2002) (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

O e-learning permite estudar a qualquer hora, em qualquer lugar, sem interferir com compromissos laborais e familiares, permite a aprendizagem ao longo da vida, o processo de aprendizagem é centrado no aluno, permite a industrialização do ensino, e a mobilidade da aprendizagem. (Araújo, A. 2005) (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Actualmente, estamos a testemunhar a integração do telefone, da rádio, da televisão, do computador e da internet, permitindo-nos aceder a serviços, informação, aplicações, comunicação sem fios, a qualquer momento e em qualquer lugar. Cada vez mais a diferença entre o telemóvel, o PDA, e o PC torna-se mais esbatida, com tendência para a combinação dos três. (Araújo, A. 2005)

2.11. Desvantagens do e-learning

As principais desvantagens da utilização do e-learning residem no facto de limitarem a relação humana entre alunos e professor, típica da sala de aula, o elevado investimento monetário inicial, quer para a criação dos conteúdos dos cursos, quer na contratação de equipas multidisciplinares, e a necessidade de uma maior auto-motivação por parte dos alunos.

(Santos, A. 2000) (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Constituem desvantagens decorrentes da sala de aula virtual, a falta de comunicação verbal e de discussão em sala de aula, a menor interacção entre alunos, e um menor sentimento de direcção e de enquadramento por parte dos alunos. Também dificulta ao professor a determinação dos pontos fortes e fraquezas dos alunos. Trata-se de uma forma de aprendizagem mais solitária e menos social.

A utilização de um fórum de discussão tem como desvantagens poder fomentar nos alunos expectativas irrealistas do professor, alguns alunos poderem ficar fora da discussão se esta não for moderada correctamente, e alguns alunos poderem apresentar comportamentos inapropriados. (Araújo, A. 2005)

A utilização do e-learning necessita de mais tempo de formação. O professor despende mais tempo em formação para que possa conjugar, da melhor maneira possível, a pedagogia com os avanços tecnológicos. A equipa de profissionais envolvida no desenvolvimento de cursos e materiais didácticos precisa de frequentar um maior número de acções de formação profissional e com uma frequência maior.

Outras inconvenientes podem surgir da ligação à Internet do aluno possuir uma largura de banda pequena para determinados conteúdos e da resistência manifestada por alguns professores na utilização de plataformas de e-learning. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

2.12. Perspectiva actual e futura do e-learning

Há escassos anos atrás poucas pessoas tinham ouvido falar em e-learning. Mas em pouco tempo registou-se uma evolução enorme bem traduzida nos termos que o vão caracterizando: “aprendizagem baseada no computador” (computer-based learning) e “ensino a distância” (distance learning) mudaram para “aprendizagem em linha” (online learning), “ensino distribuído” (distributed learning), “aprendizagem baseada na Web” (web-based learning) e “aprendizagem baseada na Internet” (internet-based learning), que foram metamorfoseados em e-learning. O capital humano tornou-se o fundamento da economia digital caracterizada por uma sociedade da informação e do conhecimento, e criou a necessidade de mais educação e de formação contínua ao longo da vida.

De uma forma geral o e-learning, como alternativa ao ensino tradicional, mostra-se adequado à formação profissional, ao treino militar e a todas as situações cujo objectivo é desenvolver valências específicas de conhecimento, sendo a pedagogia aplicada cognitivista ou behaviorista e excepcionalmente construtivista, uma vez que se trata de ensinar conhecimento que pode ser descrito explicitamente. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

No caso da educação cujo objectivo é a formação geral do indivíduo para as competências do mercado de trabalho e da vida em sociedade, o e-learning deve ser necessariamente encarado e aplicado como um apoio ou um complemento às actividades da sala de aula e não usado em substituição desta, salvo raras excepções (por exemplo, alunos doentes ou retidos em casa).

Embora o construtivismo seja a teoria da aprendizagem sugerida pela educação, na prática apenas é possível implantar uma aprendizagem cognitivista (apresentação de conhecimento explícito) complementada com alguns aspectos de natureza construtivista (trabalhos em grupo, articulação de ideias e espírito crítico na resolução de problemas). (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

A tendência actual sugere a utilização de soluções híbridas (blended learning) ou seja, e-learning complementado com actividades presenciais. O ser humano é inerentemente um ser social. A partilha de ideias e a construção de conhecimento não ocorre exclusivamente na sala de aula pois nos intervalos das aulas são também partilhadas experiências pessoais entre colegas, podendo conduzir não só à aquisição de conhecimento explícito mas também de conhecimento tácito. (Rossett, A. 2002)

Isto é particularmente importante quando são alunos adultos e estão inseridos em actividades profissionais ou em áreas de investigação. Um outro aspecto a sublinhar no ensino tradicional é a energia e a motivação transmitidas por alguns professores na sala de aula, acrescidas com frequência pela narração de experiências pessoais vividas nessa área do conhecimento. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Em suma, o e-learning é um método de ensino-aprendizagem ao serviço da pedagogia, ao serviço da estruturação do conhecimento por parte de quem ensina. O objectivo é ensinar conhecimento aos alunos combinando apropriadamente tecnologia e pedagogia. Produzir conteúdos de e-learning com qualidade é uma ciência e uma arte que requer profundos conhecimentos pedagógicos, grande experiência e acompanhamento dos progressos tecnológicos.

Da mesma forma que são importantes os livros por onde estudamos e os professores que tivemos, também são importantes os cursos e-learning que frequentamos. Devem ser aplicados métodos e estratégias apropriados, pois o ensino do conhecimento só terá valor se assim for perspectivado por aqueles a quem é dirigido. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Num futuro próximo, face ao desenvolvimento e proliferação das tecnologias móveis sem fios, o termo e-learning será provavelmente substituído por m-learning (aprendizagem móvel – mobile learning) e os conteúdos de aprendizagem poderão ser acessíveis em qualquer lugar a partir de PCs, TVs, telefones celulares, PDAs ou computadores de bolso. (Rosenberg, M. 2001)

No entanto, a maior mudança no futuro será provavelmente a forma com os materiais educacionais serão concebidos e distribuídos a quem deseja aprender. Naturalmente haverá uma evolução nas especificações SCORM (Modelo de Referência dos Objectos de Conteúdo Partilhável - Sharable Content Object Resource Model) para os conteúdos estruturados sob a forma de objectos de aprendizagem (LOs - Learning Objects), dado o seu potencial de reutilização, acessibilidade, durabilidade e interoperabilidade. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

Registar-se-á uma mudança paradigmática na forma de produzir conteúdos de aprendizagem: a forma antiga de produzir cursos monolíticos dará lugar à produção de conteúdos granulares de aprendizagem, que podem ser reutilizados em contextos variados (RARs e CARs).

Estão a emergir actualmente no mercado Sistemas de Gestão de Aprendizagem (Learning Management Systems - LMSs) e Sistemas de Gestão de Conteúdos de Aprendizagem (Learning Content Management Systems - LCMSs).

Embora alguns LMSs ofereçam características e funcionalidades mínimas de LCMSs e vice-versa, um LMS e um LCMS são sistemas de gestão de aprendizagem direccionados para propósitos diferentes.

Um LMS tem como objectivo principal automatizar os aspectos administrativos da formação, ou seja, gerir alunos (inscrição, disponibilização de conteúdos de aprendizagem, ferramentas de comunicação, registo do desempenho obtido nas actividades de aprendizagem, etc.) enquanto um LCMS é orientado para a gestão de conteúdos de aprendizagem (criação, catalogação, armazenamento, combinação e distribuição de LOs).

(Lima, J.; Capitão, Z. 2003) (Rossett, A. 2002)

O benefício de ter um LCMS reside no facto de permitir criar, armazenar, combinar e distribuir aos alunos conteúdos personalizados de e-learning na forma de LOs. Embora diferentes LCMSs ofereçam características e funcionalidades únicas, as componentes fundamentais de um LCMS consistem numa ferramenta de autor, num repositório de LOs, numa interface de distribuição e numa aplicação administrativa:

- i) Ferramenta de autor. Permite aos programadores não especializados de conteúdos e-learning criar e reutilizar LOs. Os conteúdos são escritos com base em modelos pré-programados (esquemas de página - templates).
 - ii) Repositório de LOs. Base de dados que armazena e gere LOs.
 - iii) Interface de distribuição. Permite distribuir conteúdos baseados no perfil do aluno, na pré-avaliação ou em consultas realizadas. Um LO pode ser distribuído individualmente ou fazer parte integrante da estrutura de um curso. O produto final pode ser distribuído numa variedade de formatos: Web, CD-ROM ou DVD-ROM, ou materiais impressos.
 - iv) Aplicação administrativa. Tem por finalidade lançar o produto final e registar o desempenho e o progresso dos alunos, podendo servir de interface aplicacional a um LMS.
- (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

O mesmo LO pode ser utilizado várias vezes em diferentes contextos de aprendizagem. A integridade do conteúdo do LO é preservada independentemente da plataforma de distribuição. Presentemente existem inúmeras definições para LOs. Algumas identificam um LO como um simples gráfico ou ficheiro de vídeo; outras identificam um LO como uma pequena porção de instrução que satisfaz um objectivo específico de aprendizagem.

A generalização do e-learning e a publicação de estudos de caso variados conduzirão à divulgação de boas práticas de e-learning particularmente nos aspectos da qualidade técnica e funcional. O aparecimento de e-cursos de referência, permitirá a criação de uma escala de avaliação de referência comparativa para os e-cursos que se tornarem de facto um standard.

(Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

3. Interface e conteúdos no e-learning

3.1. Introdução

O objectivo do desenho da interface é assegurar que os alunos (vistos como utilizadores) possam interagir com os conteúdos de maneira eficiente e satisfatória. Por isso a ênfase recai sobre os alunos e as suas tarefas, ou seja, sobre a usabilidade do sistema. (Khan, B. 1997)

Os princípios de usabilidade mudam com menos rapidez que a tecnologia. Muitas das boas recomendações de desenho são, com frequência, o seguimento de metodologias de engenharia de usabilidade e a adaptação de perspectivas IHC (Interação Homem-Computador — Human-Computer Interaction) à instrução em linha. (Khan, B. 1997) (Nielsen, J. 2000)

Os princípios e as recomendações apresentados para o desenho da página e do conteúdo resultam dum estudo às características de usabilidade desejáveis em sistemas multimédia. O conteúdo de alta qualidade relevante para as necessidades do utilizador, o tempo de carregamento de ficheiros mínimo e a facilidade de uso, constituem os critérios de usabilidade principais. (Afonso, A. 2000)

A qualidade do conteúdo é um dos aspectos mais determinantes de usabilidade na Web e em qualquer sistema multimédia. No desenho da página o objectivo é a simplicidade; os utilizadores visitam as páginas não para se divertirem mas para se focarem no conteúdo. Por isso, é fundamental haver consistência e previsibilidade no acesso à interface e aos elementos da página. (Nielsen, J. 2000) (Lynch, P.; Horton, S. 1999)

O desenho da página compreende a definição do esquema de página (cabeçalhos e rodapés, controlos de navegação e secção para conteúdos — texto, gráficos e multimédia) que será utilizado em todas as páginas do e-curso.

Ressalve-se no entanto que embora as teorias, os modelos, os princípios e as recomendações dêem um conjunto de orientações para o desenho da interface de e-cursos, tal não significa que um e-curso com uma boa interface é sinónimo de garantia de ocorrência de aprendizagem. Apenas assegura que os potenciais utilizadores (alunos) são capazes de interagir com os conteúdos de maneira efectiva, eficiente e satisfatória. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

3.2. Interfaces

Uma das componentes mais importantes da IHC (Interacção Homem-Computador — Human-Computer Interaction) é a interface (que compreende apenas os aspectos do sistema com os quais o utilizador está em contacto). Através dela é estabelecida a interacção entre o utilizador e o sistema multimédia, permitindo que este construa o modelo mental do sistema multimédia, indispensável para a compreensão da estrutura e funcionamento deste último. (Marques, C. 2002)

A interface estabelece a ponte entre os objectivos do utilizador, que se expressam sob a forma de resultados das tarefas interactivas, e a maneira de os atingir por intermédio do sistema computacional, consistindo assim numa superfície de conexão entre o utilizador e o computador. (Dias, P.; Gomes, M.; Correia A. 1998)

A interface é um dos componentes mais importantes de um sistema multimédia, já que influi fortemente na atitude psicológica do utilizador, podendo contribuir decisivamente para o sucesso ou insucesso desse sistema. (Jonassen, D.; Mandl, H. 1990)

É recomendável que qualquer interface seja desenhada por uma equipa multidisciplinar. Disciplinas diferentes têm diferentes prioridades, diferentes estilos de pensar e diferentes valores que devem ser geridos de forma a ajudar os utilizadores a desenvolver um modelo mental adequado ao sistema. A maior dificuldade está em conceber um sistema que tenha uma conceptualização coerente de forma a construir esse modelo. (Laurel, B. 1996) (Norman, D. 1988)

Existem três aspectos fundamentais envolvidos na concepção de uma aplicação ou sistema: o modelo de concepção, o modelo do utilizador e a imagem do sistema. Enquanto o modelo de concepção se baseia em como o autor do sistema pensa que o sistema deve funcionar, o modelo do utilizador baseia-se em como o utilizador pensa que o sistema funciona, sendo afectado pela experiência anterior do utilizador, pelas pistas que encontra, etc. (Marques, C. 2002)

A imagem do sistema compreende a interface física, o comportamento do sistema, as suas operações, assim como os manuais e as instruções que o acompanham. Desta forma, o autor do sistema deve assegurar que tudo acerca do sistema é consistente com o modelo de concepção, para que o utilizador possa desenvolver um modelo mental correcto que lhe facilite a sua interacção com o sistema.

Para além do fornecimento de um bom modelo conceptual, uma boa interface deve também: tornar as coisas visíveis para que o utilizador não tenha problemas em perceber o estado do sistema, as acções alternativas e os resultados das acções; fornecer retorno contínuo e informativo sobre o resultado das acções dos utilizadores; e obedecer ao princípio de mapeamento, segundo o qual os utilizadores devem determinar nitidamente a relação entre as acções e os resultados, os controlos e os seus efeitos e entre o estado do sistema e o que é visível. (Norman, D. 1988)

No desenho de interfaces deve-se ter em conta os seguintes princípios: conhecimento da população, redução da carga cognitiva, manter a consistência e a clareza, permitir aos utilizadores frequentes a utilização de atalhos, utilizar retorno informativo, desenhar as caixas de diálogo fechadas, oferecer prevenção e tratamento de erros, permitir a fácil anulação de acções. (Marques, C. 2002) (Preece, J.; Rogers, Y.; Sharp, H.; Benyon, D.; Holland S.; Carey T. 1994)

Os sistemas devem também ser capazes de se adaptar às necessidades dos utilizadores com diferentes tipos e níveis de experiência e de fornecer diversos caminhos que permitam aos utilizadores percorrer os conteúdos de múltiplas maneiras. Em seguida temos um conjunto de princípios gerais corroboradores da qualidade:

- i) O princípio da estimulação sincronizada que estabelece que a transmissão de informação é conseguida pela sincronização da imagem, do texto e do som;
- ii) O princípio da interactividade que determina que qualquer sistema deve contribuir para a intervenção do leitor, evitando que este se torne num mero espectador;
- iii) O princípio da simulação dinâmica segundo o qual os sistemas devem ser, esquemas com uma dinâmica própria, de forma a poderem absorver o interesse e esforço do leitor;
- iv) O princípio da necessidade temática que pressupõe que a existência de um sistema deve responder a uma necessidade específica, socorrendo-se dos recursos multimédia;
- v) O princípio da unicidade visual, segundo o qual o sistema deve assumir, tanto em forma como em conteúdo, um aspecto visual único e um estilo invariável;
- vi) O princípio do aforro temporal que desponta da compreensão do leitor como um ente inteligente, operativo e impaciente de acontecimentos e emoções, devendo os sistemas evitar a todo o custo sequências longas de texto, imagem e som;
- vii) O princípio da uniformidade funcional que estabelece que o sistema deve possuir pautas e regras de funcionamento uniformes;
- viii) O princípio da ergonomia que determina que o sistema deve comportar-se segundo o padrão de Interação Homem-Máquina.

Todas estas regras, princípios, orientações e recomendações permitem a criação de boas interfaces. Não basta escolher os formatos mais adequados à apresentação de determinada informação, é preciso saber articular e integrar minuciosamente os diferentes media.

(Marques, C. 2002)

3.3. Ergonomia

O respeito das regras de comunicação Homem-Computador é indispensável, mas não chega para assegurar a qualidade de uma interface. A qualidade da interface mede-se também pela acessibilidade das suas funções e, sobretudo, pela sua pertinência relativamente ao trabalho a realizar. É neste âmbito que a ergonomia ganha destaque. (Christol, J.; Mazeu, M.; Roger, T. 1992)

A ergonomia visa obter a fiabilidade operacional de um sistema Homem-Máquina, isto é, otimizar a sua capacidade de atingir os objectivos propostos. A ergonomia do software está centrada nos utilizadores dos programas procurando melhorar todos os aspectos da interface entre Homem e Computador. (Marques, C. 2002) (Christol, J.; Mazeu, M.; Roger, T. 1992)

Podemos assim distinguir quatro níveis de ergonomia num sistema multimédia: as funcionalidades de que o sistema multimédia deve dispor, a adequação aos modelos de representação mental dos utilizadores, as modalidades de diálogo com o utilizador e a codificação das informações.

As origens da ergonomia estão incontestavelmente ligadas a pesquisas da psicologia do trabalho, cujos objectivos procuravam a melhoria das condições de trabalho. Permaneceu durante muito tempo uma ergonomia maioritariamente médico-psicológica, orientada para o estudo do sofrimento físico. Actualmente, a ergonomia cognitiva tomou o lugar de maior destaque no seio da ergonomia, um facto a que não está alheia a evolução das tecnologias. (Sperandio, J. 1989)

Envoltos na ergonomia cognitiva estão vários processos psicológicos. A percepção, apreensão de informação do mundo exterior; o raciocínio, análise da informação; a memória, retenção da informação significativa para o sujeito; a representação mental, conceptualização do real; e a linguagem, modo de estruturar e expressar o pensamento.

O estudo destes processos contribui decisivamente para uma melhor actuação no domínio da ergonomia cognitiva. No estudo da percepção, destacam-se os princípios da organização perceptiva e os factores que influenciam a percepção. Estes últimos podem ser de natureza interna, externa ou social. A acuidade dos órgãos perceptivos, a motivação, a atenção, a disposição, a expectativa, as experiências anteriores, as necessidades e a personalidade são alguns dos factores internos. Os factores externos (inerentes ao objecto) são a intensidade, o tamanho, o contraste, o efeito surpresa ou novidade, a repetição, o movimento, etc.

Os valores sociais e as experiências socioculturais constituem os factores sociais. A percepção figura-fundo, a percepção do agrupamento (proximidade, semelhança, continuidade ou bom prolongamento, simetria, fechamento ou continuidade dos contornos, contornos subjectivos), as constâncias perceptivas (constância da forma, do tamanho, do brilho ou luminosidade) e a boa forma ou pregnância. (Marques, C. 2002)

A apreensão da informação, a manutenção da informação na memória e a extracção da informação constituem os três estádios implicados em todo o acto de memória, designados respectivamente: aquisição, armazenamento e recuperação. O estudo da memória requer também o conhecimento dos tipos de memória (episódica, genérica, icónica e semântica), dos sistemas de memória (memória a longo prazo, curto prazo e registos sensoriais) e dos processos cognitivos presentes na actividade mnésica.

O estudo do raciocínio remete-nos para os diversos tipos de raciocínio (por analogia, indução, abdução e dedução), para a compreensão da importância do raciocínio na realização de uma tarefa, assim como para a compreensão dos procedimentos cognitivos envolvidos na resolução de problemas. (Marques, C. 2002)

A representação mental conduz-nos ao estudo do pensamento e à importância da imagem mental e da imagem operativa. Por fim, o estudo da linguagem leva-nos também ao estudo do pensamento e à relação entre linguagem e pensamento. Outros aspectos como as dimensões do discurso, a representação circunstancial, os conhecimentos operativos e a economia cognitiva são de extrema importância neste domínio.

A ergonomia cognitiva zela pela coerência da organização do trabalho do ponto de vista das exigências do funcionamento humano, tornando-se numa preciosa ajuda para o melhoramento da capacidade de utilização de qualquer sistema multimédia.

Desde a estruturação e apresentação da informação no ecrã à escolha das cores, são inúmeras as situações em que a ergonomia pode intervir. Porém, é preciso vincar que não existem soluções ergonómicas universais. (Marques, C. 2002)

3.4. Atenção e percepção

As situações de interface Homem-Máquina exigem dos operadores, antes de mais, a entrada em funcionamento dos mecanismos psico-sensoriais ligados à recepção das informações. No entanto, o ser humano possui limites à capacidade de recepção e de tratamento da informação.

Em primeiro lugar, porque há limiares de sensação associados aos seus receptores sensoriais (que tem impacto na qualidade da informação recebida). Em segundo lugar, porque a capacidade de tratamento da informação é limitada (que afecta a quantidade de informação recebida pelo sistema perceptivo).

A análise da influência dos mecanismos da atenção e perceptivos na interacção Homem-Computador em situações concretas revelou que quando o operador ou utilizador está a desempenhar uma tarefa (a leitura de um ecrã para escolha de informação ou a efectuar entrada de dados, por exemplo) a sua atenção está focalizada nos factores ou elementos necessários para o desempenho da tarefa. A atenção é selectiva e à capacidade de atenção corresponde uma carga cognitiva ou uma carga mental de trabalho. (Marques, C. 2002) (Sperandio, J. 1989)

O operador dispõe de um tempo mínimo para receber a informação e necessita do máximo de informação para desempenhar a sua tarefa. O problema que se coloca ao ergónomo é saber como se pode aumentar a informação sem aumentar a carga mental ou cognitiva do trabalho ou sem que o sistema entre em ruptura (o sujeito entre em sobrecarga informacional). (Sperandio, J. 1989)

Na leitura da informação transmitida por terminal vídeo, há informação que é óbvia para o utilizador e essa informação, apesar de ser essencial para o processamento cognitivo de nível mais elevado, pode ser transmitida através de um processamento cognitivo mais básico, sem que a carga cognitiva adicional corresponda a menor capacidade de atenção para o desempenho da tarefa principal, isto é, que a informação em vez de ser lida seja simplesmente percebida. (Marques, C. 2002)

Uma das preocupações constantes do ergónomo deve ser sempre o de limitar a apresentação da informação, só apresentando a que é mais útil (mais pertinente para a situação ou tarefa) evitando os estímulos distractores (barulho informacional). A informação inútil é uma carga que diminui a eficiência da percepção e sobrecarrega a memória de trabalho. (Sperandio, J. 1989)

3.5. Independência e adaptabilidade à resolução de ecrã

Actualmente é impossível prever a resolução do ecrã de computador onde serão visualizadas as páginas. Por isso, é recomendável que o esquema de página seja desenhado de forma a garantir que as páginas funcionem na menor resolução de ecrã actualmente em uso, isto é, 640×480 pixéis, se não considerarmos as menores resoluções de ecrã utilizadas nas comunicações móveis que geralmente exigem tratamento específico.

Páginas que excedam a resolução de ecrã permitidas pelos monitores têm o inconveniente de obrigar o utilizador a fazer rolamento (scrolling) horizontal ou vertical para ver as páginas completas, ou mesmo impossibilitar a visualização das mesmas. Ora os utilizadores não gostam de fazer rolamento de ecrã e por isso este deve ser evitado. Além disso, em páginas longas os utilizadores perdem facilmente o contexto pois o utilizador tem que se lembrar de mais informação do que a que está correntemente no ecrã. (Nielsen, J. 2000) (Lynch, P.; Horton, S. 1999)

Estas dificuldades estão relacionadas com os diferentes recursos possuídos por cada utilizador, tais como, o ecrã, a plataforma operativa ou o programa de navegação (browser). O sistema multimédia ao ser desenhado, deve tentar ter em conta todas as resoluções de ecrã e o número de cores disponíveis nos mesmos. (Marques, C. 2002)

A evolução tecnológica é estonteante, os autores dos sistemas multimédia devem estar atentos a essa evolução, mas nunca devem esquecer os utilizadores que não conseguem acompanhá-la. O esquema de página deve ser optimizado pelo programa de navegação para a resolução de ecrã de cada utilizador. Para isso, é necessário que o esquema de página seja especificado em termos de percentagem do espaço disponível, em vez de dimensões fixas. (Nielsen, J. 2000) (Marques, C. 2002)

O sistema multimédia deve procurar funcionar bem em qualquer plataforma, nomeadamente *Windows*, *Linux* e *Macintosh*. Trata-se de uma tarefa complicada, pois existem comportamentos que são muito difíceis de eliminar. Os tipos de letra diferem entre ambas as plataformas; o mesmo tamanho de letra tem uma dimensão maior numa plataforma *Windows*; as imagens aparecem mais escuras numa plataforma *Windows*, entre outras diferenças.

Mesmo entre os programas de navegação mais populares, o sistema multimédia tem comportamentos diferentes, sendo muito difícil optimizá-lo para todos os programas de navegação. O obstáculo torna-se ainda mais atroz quando se compara as versões dos referidos programas de navegação nas plataformas *Windows*, *Linux* e *Macintosh*. (Marques, C. 2002)

3.6. Tempo de carregamento de ficheiros mínimo

Um tempo de carregamento de ficheiros mínimo é um critério de desenho de extrema importância no caso de conteúdos para a Web. Estudos comprovam que é de dez segundos o tempo limite para manter a atenção dos utilizadores focada enquanto aguardam a transferência de informação. (Nielsen, J. 2000) (Lynch, P.; Horton, S. 1999)

Em ficheiros multimédia que levem mais do que dez segundos a carregar, com a largura de banda disponível para a maioria dos utilizadores, é boa estratégia fazer prever o tempo de resposta, indicando depois da hiperligação o formato e o tamanho do ficheiro. (Nielsen, J. 2000)

Convém salientar que o tempo de resposta experimentado pelo utilizador na Web é determinado por um conjunto de aspectos:

- i) o débito do servidor;
- ii) a ligação do servidor à Internet;
- iii) o tráfego na Internet, especialmente em horas de ponta;
- iv) a ligação do utilizador à Internet;
- v) a velocidade de texturização (rendering) do navegador e do computador do utilizador.

Cada um destes cinco aspectos introduz o seu tempo de espera no carregamento de uma página. Os tempos de espera são, por isso, cumulativos. (Nielsen, J. 2000)

3.7. Evitar a utilização de quadros

Os quadros (frames) são uma funcionalidade do HTML que consiste em dividir a área de ecrã em duas ou mais secções, apresentando em cada uma, documentos HTML independentes. Com a utilização de quadros é possível visualizar várias páginas Web (documentos HTML) em um único ecrã de computador e executar acções de navegação em cada uma das páginas do quadro.

No caso de conteúdos para a Web, não é recomendada a utilização de quadros, porque a navegação deixa de funcionar correctamente pois a unidade de navegação passa a ser diferente da unidade de visão. (Nielsen, J. 2000)

O endereço que é visualizado no navegador endereça um quadro mestre (frameset – um ficheiro HTML mestre que define as secções do quadro) e mantém-se permanentemente inalterado independentemente das acções de navegação invocadas pelo utilizador, ou seja, independentemente da informação visualizada no ecrã. Dito de outra forma, os URLs (Localizadores Universais de Recursos — Universal Resource Locators) deixam de funcionar.

Nestas circunstâncias, se um utilizador decidir enviar por correio electrónico uma mensagem a um colega, contendo o URL de uma página de quadro e recomendando a leitura do conteúdo da mesma, esse URL não irá funcionar pois endereça um quadro mestre e não a página em visualização corrente (que contém informação de interesse para o colega). Uma situação similar acontece quando adicionamos aos favoritos do navegador endereços de páginas contidas em quadros. (Nielsen, J. 2000)

3.8. Escrever para o ecrã

Existem três princípios de usabilidade para a escrita no ecrã:

- i) manter textos e páginas pequenos;
- ii) escrever para ler globalmente (scannability);
- iii) estruturar os conteúdos longos em múltiplas páginas.

Investigações comprovam que ler na generalidade dos ecrãs de computadores é 25% mais lento do que ler no papel. Consequentemente, a apresentação de textos extensos torna a leitura fastidiosa e os leitores impacientes. Deve-se assim escrever 50% menos texto, e não apenas 25%, devido não só à velocidade mais lenta de leitura mas também para que a leitura seja mais agradável.

Além dos textos, é igualmente importante manter as páginas pequenas. Rolamentos de navegação dentro das páginas não são aconselháveis pois tornam impossível a visão geral de todas as opções de conteúdo disponíveis. (Nielsen, J. 2000) (Lynch, P.; Horton, S. 1999)

Como a leitura no ecrã de computadores é mais penosa, os utilizadores tendem normalmente a não ler o texto completo; em vez disso, perscrutam (scanning) o texto e captam palavras, frases e parágrafos com interesse, enquanto saltam pelas restantes partes do texto que consideram de importância menor. (Nielsen, J. 2000)

Por essa razão, escrever para ler globalmente é um princípio a preservar, nesse sentido deve ser seguido o seguinte conjunto de recomendações:

- i) Estruturar o conteúdo em dois ou três níveis de títulos (título geral mais subtítulos e sub-subtítulos quando apropriados).
- ii) Alinhar o texto à esquerda, pois a perscrutação do texto é mais rápida do que centralizado ou justificado. Também é aceitável o alinhamento centralizado ou justificado para produzir efeitos em pequenas linhas, mas não deve ser utilizado em blocos de texto.
- iii) Utilizar listas de itens (bulleted lists) e outros elementos de desenho similares para quebrar o fluxo uniforme dos blocos de textos.

iv) Dar ênfase às palavras importantes, atraindo os olhos do utilizador para as mesmas. As cores designadas para as palavras com ênfase devem ser distintas das cores das ligações a outras páginas; caso contrário, o utilizador poderá tentar fazer clique numa palavra com ênfase presumindo que se trata de uma ligação a outra página.

v) Utilizar uma linguagem objectiva e a regra de "uma ideia por parágrafo".

vi) Manter o texto estático, texto com movimento ou brilho é muito mais difícil de ler do que texto estático.

Manter o texto curto sem sacrificar a profundidade do conteúdo pode ser conseguido pela divisão da informação em várias áreas, conectadas por ligações de página. Desta forma, a informação pormenorizada pode ser relegada para páginas secundárias. (Nielsen, J. 2000)

As tabelas permitem apresentar a informação de uma forma simplificada, facilitando a leitura, assim como permitem ter pleno controlo do alinhamento da informação contida nas suas células. Muitos layouts de páginas só são possíveis pela utilização destas.

Deve-se evitar o uso de tabelas muito longas e, se necessárias, devem ser quebradas verticalmente. Os títulos de uma tabela devem distinguir-se do conteúdo da tabela. A utilização do negrito ou da cor pode ser uma solução. Deve-se tentar minimizar o uso de limites, uma vez que estes distraem o olhar. (Marques, C. 2002)

As listas são um meio de apresentação de informação muito importante nos ambientes multimédia. As listas dividem-se em três tipos: listas com marcas (Bullet Lists), listas ordenadas (Ordered Lists) e listas de conceitos (Definition Lists/Nested Lists).

Nas listas com marcas cada elemento é antecipado por uma marca. Este tipo de lista é óptimo para apresentar várias hiperligações, referências bibliográficas, etc. A forma objectiva desta apresentação dá relevo a cada elemento da lista.

As listas ordenadas impõem uma ordem de apresentação dos elementos, sendo muito importantes quando a leitura dum elemento carece da leitura dos anteriores. Nas listas de conceitos cada elemento é seguido por uma descrição indentada. Estas listas permitem fazer a distinção dos termos ou conceitos, tornando agradável a leitura dos mesmos. (Marques, C. 2002)

Dependendo do contexto pode ser oportuno empregar o princípio da pirâmide invertida, apresentando de imediato o mais importante e adicionando gradualmente pormenor. O princípio da pirâmide invertida, normalmente ensinado nas escolas de jornalismo, reflecte a ideia de “menos poder significar mais”, e surge como resposta ao facto da maioria dos utilizadores não terem paciência ou tempo para ler muito material até ao fim. (Nielsen, J. 2000)

3.9. Legibilidade

Ao longo dos tempos foram-se desenvolvendo princípios do domínio tipográfico, como resposta ao modo como lemos, que continuam hoje a ser tidos em conta nos sistemas multimédia. A dimensão, a força, a orientação, a harmonia e a simplicidade são factores que influenciam a legibilidade. Isto é, o modo como se processa a visualização e a percepção das letras e palavras numa página. Os princípios básicos que contribuem para uma boa legibilidade do conteúdo englobam: (Marques, C. 2002)

- i) selecção apropriada de fontes;
- ii) escrever para ler globalmente (scannability);
- iii) utilização apropriada da cor. (Nielsen, J. 2000)

Dado que o princípio ii) foi abordado anteriormente, torna-se necessário pormenorizar apenas os restantes princípios.

A letra, embora inconscientemente, é um agente persuasivo. Atrai a atenção, define o estilo e o carácter do documento, interferindo na maneira como o leitor interpreta as palavras. Diariamente, os olhos do leitor são invadidos por inúmeros tipos de letra, que por vezes, sem se dar conta, passam a ser conotados com o objecto lido.

Não existem bons e maus tipos de letra, existem tipos de letra apropriados e inapropriados. A sua escolha deve condizer com o fim a que se destina o texto, promovendo a fácil leitura e nunca se impondo ao texto. (Marques, C. 2002)

Escolher um tipo de letra para um sistema multimédia exige, contudo, várias outras precauções. Numa primeira perspectiva, deve ser abordado o uso de tipos de letra com cerifas (Serif) e sem cerifas (Sans-Serif). Por exemplo, o texto que está a ler é uma fonte com cerifas.

Nas fontes com cerifas são adicionados pequenos aspectos decorativos no final das letras. A diferença entre fontes com cerifas e fontes sem cerifas é visível por exemplo na letra maiúscula “F” em Times New Roman (uma fonte com cerifas) e “F” em Verdana (uma fonte sem cerifas).

Nos meios tipográficos, o tipo serifado é o mais comum, existindo estudos que comprovam uma maior facilidade de leitura. Num sistema multimédia os tipos sem serifa são os mais utilizados. A maioria dos tipos serifados, apresentam um aspecto confuso, pelo facto de ser extremamente difícil reproduzir as serifa na baixa resolução dum ecrã de computador. Por essa razão, deve ser utilizado um tipo sem serifa quando o tamanho do texto é pequeno, mas em tamanhos grandes pode ser utilizado um tipo serifado. (Nielsen, J. 2000) (Boyle, T. 1997) (Tektronix 1995) (Marques, C. 2002)

As fontes recomendadas para o ecrã de computador não seguem as convenções utilizadas para texto impresso, por duas razões:

- i) A resolução no ecrã é menor do que no papel e consequentemente, fontes com cerifa em tamanho pequeno no ecrã podem apresentar um aspecto apinhado e forçar os olhos do utilizador na resolução visual dos caracteres individuais;
- ii) No ecrã de computadores a luz é projectada em vez de reflectida, o que exacerba o problema. (Boyle, T. 1997)

Não devem ser utilizados muitos tipos de letra no mesmo sistema multimédia. O principal objectivo da utilização de mais do que um tipo é realçar ou separar uma parte de outra. Quando se utilizam muitos tipos, o leitor fica incapaz de distinguir o que é e o que não é importante.

Devem ser utilizados no máximo quatro tipos diferentes. Se for necessário combinar vários tipos de letra, deve-se evitar fazê-lo entre os que têm um aspecto muito semelhante. A falta de contraste leva a que o leitor os interprete como se de um só se tratasse. Os tipos de letra devem igualmente ser usados com consistência. O uso inconsciente dos mesmos conduz a um olhar desordenado e a uma confusão na estrutura e organização do documento. (Marques, C. 2002)

Os tipos de letra devem ser vulgares. Se o computador do utilizador não possuir o tipo de letra, não conseguirá ver correctamente os conteúdos. É preciso assegurar igualmente que este funcione bem nos diversos tamanhos.

Será importante referir que qualquer tamanho especificado num computador *Macintosh* será visto pelo menos 33% maior num computador com o sistema operativo *Windows*. Estas últimas limitações tendem a ser superadas pelo uso de folhas de estilo que são suportadas por diversos programas de navegação.

O espaçamento entre letras deve ser uniforme, não incorrer em extremos e atender a factores como o tipo, o tamanho e o peso de letra. Por outro lado, o espaçamento das palavras deve ser proporcional ao espaçamento das letras, para que estas últimas fluam graciosamente e ritmicamente em palavras e as palavras em linhas. (Marques, C. 2002)

O texto regular deve ter um tamanho igual ou superior a 10 pt e não deve ser escrito utilizando apenas letras maiúsculas. A utilização exclusiva de letras maiúsculas ocasiona blocos de texto com uma aparência uniforme que diminuem em cerca de 10% a velocidade de leitura.

Os textos em maiúsculas são mais difíceis de ler, pois as palavras formadas com letras maiúsculas são rectângulos monótonos que oferecem poucas formas distintas para captar os olhos do leitor. As palavras em maiúsculas só deverão ser utilizadas quando fiquem em posição destacada no ecrã ou no caso de designarem títulos. (Nielsen, J. 2000) (Lynch, P.; Horton, S. 1999) (Marques, C. 2002)

Em termos tipográficos é frequente a utilização do negrito, do itálico e do sublinhado. O sublinhado nos sistemas multimédia aparece associado às hiperligações, se for usado noutra qualquer circunstância poderá confundir os leitores. O texto itálico deve ser evitado, sobretudo em tamanhos de letra pequenos, pela difícil leitura e pelo aspecto atroz no ecrã de computador. (Marques, C. 2002)

A orientação do texto deve ser sempre horizontal. O texto escrito verticalmente e, sobretudo, invertido proporciona uma difícil leitura. Por outro lado, o texto deve ser alinhado à esquerda, a leitura processa-se mais rapidamente desta forma do que num texto alinhado à direita, centrado ou justificado. (Nielsen, J. 2000)

De forma a melhorar drasticamente a leitura do texto, as linhas devem ser curtas, não excedendo os 50 caracteres e o espaçamento entre linhas deve ser 1,3 vezes o tamanho do tipo de letra utilizado.

O texto flui naturalmente quando existe uma relação harmoniosa entre tamanho da letra, comprimento da linha e espaçamento entre linhas. Os leitores lêem, principalmente pelo reconhecimento da forma geral das palavras (não pelo reconhecimento de cada letra e depois pela junção das mesmas numa palavra). (Lynch, P.; Horton, S. 1999) (Marques, C. 2002)

Os parágrafos devem ser indicados através da introdução de um espaço suplementar entre eles ou através de um avanço, de forma a não prejudicar a integridade e a consistência visual do texto. Segue-se um conjunto de recomendações básicas para uma boa legibilidade das fontes: (Marques, C. 2002)

- i) Fontes suficientemente grandes para que a leitura seja agradável, mesmo em pessoas que não tenham uma visão perfeita. Utilizar, no mínimo, dez pontos para tamanho de fontes. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003) (Nielsen, J. 2000) (Boyle, T. 1997)
- ii) Blocos de texto em fonte sem serifas, como é o caso da Verdana, devido à pouca resolução dos ecrãs de computador (não existe um número suficiente de pixéis que resolva o pormenor requerido pelas fontes com serifas em tamanho pequeno). De notar é exactamente o contrário do que se deve fazer em material impresso. (Nielsen, J. 2000)
- iii) Títulos em fonte com serifas para criar um efeito decorativo e porque o texto em tamanho grande é mais legível em fonte com serifas. (Nielsen, J. 2000) (Boyle, T. 1997)
- iv) Evitar texto em palavras maiúsculas. A leitura do texto em maiúsculas é 10% mais lenta pois dificulta o reconhecimento da forma das letras. (Nielsen, J. 2000) (Lynch, P.; Horton, S. 1999)

3.10. Inteligibilidade

A linguagem deve ser acessível a todos os utilizadores. O estilo da linguagem deve ter em conta as características do sistema multimédia e os seus objectivos e devem ser fornecidas definições e descrições que clarifiquem os termos e as convenções menos conhecidos.

Nos sistemas multimédia, o autor não pode presumir que o utilizador, ao defrontar-se com qualquer módulo de informação, conheça determinados pré-requisitos da informação. Devem ser usadas frases curtas, para facilidade de leitura e entendimento, e deve-se tentar respeitar a norma de uma ideia por parágrafo. (Nielsen, J. 2000) (Marques, C. 2002)

A utilização de abreviaturas deve obedecer a regras consistentes e só deve acontecer quando a abreviatura é nitidamente mais curta que a palavra ou quando esta é mais significativa para o utilizador que a própria palavra. (Marques, C. 2002)

Os títulos devem ser expressivos, assim como devem ser evidenciadas palavras-chave no documento. As listas devem ser apresentadas em colunas, uma vez que, dispostas em linhas, são mais difíceis de ler e compreender. Recomenda-se também a utilização de numeração árabe em vez da romana, porque esta última diminui a velocidade de leitura.

Quando se recorre a menus, a ordem dos itens deve seguir uma sequência natural (ordem cronológica, ordem numérica, propriedades físicas, etc.). Caso não seja possível, torna-se necessário recorrer a outras possibilidades como a ordem alfabética, o grau de importância, a frequência de utilização ou o relacionamento entre os itens.

A velocidade com que o utilizador percorre os menus pode ser determinante no seu sucesso. Os títulos dos menus devem ser simples e centrados ou alinhados à esquerda. Os itens devem ser alinhados à esquerda, devendo ser utilizados espaços para separar os diferentes grupos.

Se forem utilizados formulários é necessário que as etiquetas sejam significativas e estejam próximas da caixa de resposta, que a tecla TAB permita percorrer todos os itens e que sejam implementados métodos de correcção de erros. As mensagens de erro devem apresentar uma linguagem simples (sem códigos ou convenções desconhecidas), ser esclarecedoras do erro e ajudar o utilizador a resolvê-lo. (Nielsen, J. 2000)

A utilização de ajudas permite aumentar a inteligibilidade de qualquer sistema, devendo estas estar sempre disponíveis. Através delas são fornecidas informações ao utilizador sobre o modo como usar o sistema multimédia e dos seus objectivos. No entanto, a utilização de demasiadas ajudas pode comprometer o sistema, porque embora elas possam ser fundamentais para o utilizador inexperiente, acabam por aborrecer o utilizador que conhece o sistema. A solução pode passar pela criação de ajudas que estejam sempre acessíveis, cuja utilização dependa da sua selecção e nunca de uma imposição do sistema. (Marques, C. 2002)

Uma das secções mais populares da ajuda é a secção das FAQs (Frequent Asked Questions), onde são apresentadas respostas a perguntas frequentes. Na criação desta secção é fundamental ter em conta algumas recomendações:

- i) Determinar a necessidade da secção;
- ii) Não transformar a secção das FAQs num repositório para todo o tipo de ajudas;
- iii) Organizar as FAQs em grupos lógicos;
- iv) Fornecer um índice de FAQs;
- v) Considerar a utilização de estratégias que permitam adicionar facilmente novas FAQs;
- vi) Explicar o significado da sigla "FAQ" se esta for utilizada;
- vii) Fornecer hiperligações que permitam retornar ao índice;
- viii) Incluir um motor de pesquisa quando a secção de FAQs é muito grande;
- ix) Repetir a questão correspondente antes de apresentar a resposta;
- x) Eliminar palavras desnecessárias;
- xi) Fazer uma distinção visual entre perguntas e respostas;
- xii) Permitir o fácil acesso às FAQs;
- xiii) Evitar o uso de imagens decorativas;
- xiv) Fazer uma correspondência directa entre a questão do índice e a questão apresentada;
- xv) Permitir que os utilizadores façam novas questões. (Marques, C. 2002)

3.11. Cores

Os seres humanos têm capacidade de perceber as diferenças quantitativas e qualitativas da luz. A esta capacidade chama-se visão da cor. A aparência da cor é caracterizada pela tonalidade, pela luminosidade e pela saturação. A tonalidade é a característica qualitativa de uma cor. Poder-se-á dizer que é a gradação de uma cor. A luminosidade prende-se com a capacidade de reflexão da luz. A saturação é a característica quantitativa de uma cor. Considera-se mais saturada a cor que menos branco ou preto contiver, isto é, a mais pura.

A consistência é muito importante no uso da cor. A ordenação intuitiva das cores no espectro pode ajudar na construção de um sistema multimédia intuitivo. Deve-se evitar mudar o significado das cores em diferentes páginas do mesmo sistema, assim como se deve evitar o uso de diferentes tons de uma cor para ideias ou conceitos diferentes. O número máximo de cores por ecrã deverá situar-se entre quatro e sete. (Marques, C. 2002) (Preece, J.; Rogers, Y.; Sharp, H.; Benyon, D.; Holland S.; Carey T. 1994)

Outro factor importante no uso da cor é a clareza. O tempo de procura de um item diminui se a cor desse item for indicada antecipadamente e se a mesma apenas for aplicada a esse item. O uso eficiente da cor requer uma coordenação cuidada das cores e dos seus níveis de intensidade. O uso de uma combinação errada poderá causar ilusões que provocarão cansaço de vista ao leitor. Com base na percepção visual, existem vários tipos de contraste de cor:

- i) Contraste de quantidade que se encontra relacionado com as porções de cor utilizadas;
- ii) Contraste de qualidade que consiste na modificação da tonalidade da cor através da sua saturação ou luminosidade;
- iii) Contraste da cor em si que resulta do contraste entre cores saturadas;
- iv) Contraste claro-escuro que consiste na aplicação do preto, do branco ou de cinzentos entre estes dois tons;
- v) Contraste quente-frio que está relacionado com determinadas zonas de valores em relação a todo o seu envolvimento;
- vi) Contraste de cores complementares que é conseguido através do confronto entre determinada cor e a sua cor complementar;

vii) Contraste simultâneo que se baseia na colocação, lado a lado, de cores que têm tendência a ser percebidas com alterações;

viii) Contraste sucessivo que sucede quando depois de fixarmos durante algum tempo uma barra de determinada cor sobre um fundo branco olharmos durante algum tempo para uma folha branca sem movimentarmos a posição da cabeça. Em vez do quadrado percebemos, no seu lugar e com as mesmas dimensões, a sua cor complementar. (Marques, C. 2002)

A fidelidade da cor é outro factor que influencia o aspecto de um sistema multimédia. Se o ecrã estiver demasiado brilhante, o preto não será puro; por outro lado, se estiver demasiado escuro o branco não será puro; se ambas as regulações não estiverem correctas, então o contraste não é suficientemente grande.

Outro elemento que merece consideração é a paleta de cores que o computador do utilizador possui. Isto é, o número de cores que consegue exibir. Em poucos anos, a maioria dos computadores passou de uma paleta de 256 cores para uma paleta com vários milhões de cores. A este fenómeno não foram alheias a evolução das placas gráficas e a sua redução de preço, assim como a redução do preço da memória. (Marques, C. 2002)

A cor é de tal modo importante que afecta profundamente os nossos estados emocionais e influencia as nossas vidas, o nosso sentido de humor, a nossa capacidade de trabalho. Entre as sensações mais associadas às cores encontram-se:

- i) Vermelho é inspirador, quente, apaixonado, sangrento, revolucionário, agressivo, vigoroso, impulsivo, excitante. Associado ao perigo, à tensão, à excentricidade e ao poder.
- ii) Amarelo é energético, brilhante, optimista, soalheiro, activo, estimulante, memorável, intelectual, imaginativo, idealista. Estimula espiritualmente e promove a conversação.
- iii) Castanho é pesado, sensível, confortável, estável e quente. Tem um efeito calmante e está relacionado com pessoas mais velhas.
- iv) Violeta é uma expressão de identificação e decisão, mas também de seriedade, uma tendência para o silêncio.

- v) Azul é excelente para trabalhar com ideias. É sereno, calmo, fresco, pacífico, tranquilo, justo, conservador e relaxante.
- vi) Verde é natural, fértil, calmo, refrescante, próspero, jovem, saudável, tenso e firme. É exteriormente defensivo e interiormente protector. Permanece entre o quente e frio, traz calma e segurança.
- vii) Preto é sério, distinto, profissional e compacto. É usado em áreas onde as cores das restantes se supõe terem impacto, está relacionado com o mal, com a escuridão, com o terror e com a infelicidade.
- viii) Cinzento significa balanço, necessidade de paixão e é a fronteira entre o sim e o não. O cinzento é passivo, tem pouca vida própria.
- ix) Branco é pureza, neutralidade e leveza. Permite o mais alto grau de desenvolvimento humano. (Marques, C. 2002)

As pessoas interagem com o mundo através de um modelo mental desenvolvido pela própria sociedade. O uso apropriado da cor comunica factos e ideias mais rapidamente e eficientemente ao utilizador. Em termos gerais, na visão da cor a acção parte do objecto e afecta a pessoa, mas para a percepção da forma a mente organizadora vai ao encontro do objecto. Uma aplicação literal desta teoria poderia levar à conclusão de que a cor produz uma experiência essencialmente emocional, enquanto a forma corresponde ao controlo intelectual. (Marques, C. 2002)

Em termos funcionais, pode abordar-se a cor nos aspectos denotativo, conotativo e esquemático. O aspecto denotativo está vinculado ao mundo da representação do real. Quando a cor é utilizada na sua capacidade de representação figurativa, isto é, incorporada nas imagens realistas da fotografia ou da ilustração, trata-se da cor enquanto o atributo natural das coisas. O aspecto conotativo evoca o mundo dos valores psicológicos, a sensação sobre o espírito. As suas variáveis são a psicologia e o simbolismo. O aspecto esquemático relaciona-se com o campo dos códigos da funcionalidade e também do arbitrário e do espontâneo.

Todo o tipo de letra possui características únicas que devem ser tomadas em consideração na escolha da cor. Estas características incluem proporção, peso, largura, presença ou ausência de cerifas e excentricidade do design. A cor é também afectada pelo espaçamento entre letras, palavras e linhas. Quanto maior este for, mais clara será a tonalidade da cor.

A cor do texto deve contrastar com o fundo, pouco contraste pode originar uma difícil leitura. A legibilidade óptima consegue-se combinando texto preto em fundo branco, no entanto se o ecrã estiver demasiado brilhante a leitura torna-se difícil devido ao brilho ofuscante desta combinação.

O texto branco em fundo preto, por sua vez, embora seja atraente, torna a leitura muito desagradável. Na selecção das cores há um conjunto de recomendações que contribuem para uma boa legibilidade: (Nielsen, J. 2000) (Marques, C. 2002)

- i) Usar cores que causem um contraste elevado entre o texto e o fundo. A legibilidade óptima requer texto a preto e fundo a branco (o cinzento também é bom). O pior esquema de cores é texto a cor-de-rosa e fundo a verde pois, além de ser dado pouco contraste, torna impossível a leitura aos utilizadores daltónicos. (Nielsen, J. 2000)
- ii) A opção pelo fundo a branco permitirá uma liberdade máxima na selecção de cores para os objectos. Porém, áreas extensas a branco causam claridade no ecrã e, em resultado disso, forçam a visão (o ecrã do computador emite luz, em vez de a reflectir como acontece no papel). Por isso, uma alternativa ao branco é a utilização do cinzento. A claridade é reduzida e é mantida a liberdade na selecção de cores para o primeiro plano - texto e os objectos.
- iii) Importa também referir que a selecção da cor para o fundo pode depender da natureza do e-curso: conotações associadas ao sistema e a cor dos objectos a apresentar em primeiro plano são alguns exemplos. No entanto, qualquer que seja a cor eleita para o fundo ela deve ser suave e não intrusiva aos olhos. (Boyle, T. 1997)
- iv) Seleccionar fundos com cores lisas ou com padrões extremamente subtis. Isto porque o fundo gráfico interfere com a capacidade dos olhos de reconhecer as formas das palavras. (Nielsen, J. 2000)

v) Considerar o contexto e a conotação da cor. Determinadas cores tendem a apelar a comportamentos ou a respostas do indivíduo. Assim, regra geral, o vermelho está associado a situações de erro, proibição e é conotado com a emoção de perigo; o amarelo sugere precaução, cuidado ou uma acção executada com ponderação; o branco está associado à percepção de clareza, pureza e esterilidade. As cores quentes (vermelho, laranja, amarelo) pretendem invocar uma resposta imediata, uma acção ou reacção; as cores frias (violeta, azul, verde) sugerem repouso, calma e tranquilidade. É importante sublinhar que o significado das cores é também fruto das tradições culturais de cada povo.

vi) Evitar o uso excessivo da cor. Estudos sugerem que o número máximo de cores que pode ser discriminado visualmente é sete. No entanto, a cor deve ser utilizada apenas para realçar a mensagem, e (luas ou três cores são normalmente suficientes).

vii) É fundamental consistência na utilização da cor pois a mudança no esquema de cores pode ser extremamente distractivo.

viii) Ao distinguir uma série de itens pela cor, utilizar a ordem natural do espectro de cores, que corresponde à sequência de cores no arco-íris (vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta). (Tektronix 1995)

Em sistemas multimédia a interface deve ser eficaz e isso passa por conceitos como legibilidade e inteligibilidade. É necessário usar conjugações correctas de fontes e cores para que a leitura resulte legível e se faça de uma forma rápida e apreensível. (Marques, C. 2002)

3.12. Gráficos

A imagem funciona como uma ilusão fornecida ao espectador do objecto que esta representa. A imagem transporta numerosas informações, permite transpor o tempo e o espaço e é polissémica. Outras características da imagem são:

- i) Iconicidade, pela semelhança com o modelo;
- ii) Complexidade, pelo conjunto de elementos que a constituem;
- iii) Normatividade, pelo uso rigoroso de leis e regras;
- iv) Universalidade, pelos signos ou figuras simbólicas;
- v) Historicidade, pelo valor documental;
- vi) Estética, pela carga conotiva;
- vii) Fascínio, pela capacidade de retenção do olhar.

(Marques, C. 2002)

A utilização de ícones é muito frequente. A linguagem do ícone e o seu potencial comunicativo são preponderantes na criação de uma interacção mais fácil e amigável com o computador. (Saraiva, I. 1997)

Os ícones podem ser classificados em quatro categorias: ícones semelhantes, exemplares, simbólicos e arbitrários. O seu significado é dado pelo contexto em que este se insere, pela natureza da tarefa para a qual vai ser usado, pela forma pictográfica utilizada, pela natureza do conceito subjacente e pela diferenciação com os restantes ícones. Para diminuir a confusão acerca do seu significado pode ser utilizada uma designação verbal que seja mostrada simultaneamente. (Marques, C. 2002) (Preece, J.; Rogers, Y.; Sharp, H.; Benyon, D.; Holland S.; Carey T. 1994)

Os ícones permanentes devem surgir no mesmo local em todas as páginas, facilitando ao utilizador a interiorização da sua localização e função. Também deve ser assegurada a diferenciação entre um ícone seleccionado e os restantes e, quando se revelar benéfico, deve-se adicionar animação aos ícones. (Marques, C. 2002)

O uso de imagens é também muito valorizado já que estas permitem ajudar a relacionar as informações que estão a ser apresentadas com a realidade. A imagem pode tornar o texto menos abstracto para o utilizador, facilitando a memorização dos conceitos. (Saraiva, I. 1997)

O processo de leitura de uma imagem engloba três fases: a percepção, a interpretação-conceitualização e a reinterpretação-reconceptualização. Na primeira fase o leitor recebe o estímulo visual da imagem, na segunda cria o modelo conceptual e por fim a reinterpretação-reconceptualização da imagem irá originar o modelo mental, que traduzirá as relações cognitivas entre o sistema e o leitor. (Marques, C. 2002)

A velocidade de transmissão de dados na Internet é, actualmente, variável: depende do tipo de ligação à Internet, do tipo de modem, da velocidade do servidor Web, da quantidade de tráfego na Internet, e outros factores já referidos. No entanto, há um factor que é claro: quantas mais imagens forem utilizadas, mais tempo o utilizador terá de esperar para ver a página completa. Por isso a quantidade de imagens usadas nas páginas Web deve ser minimizada. (Nielsen, J. 2000) (Lynch, P.; Horton, S. 1999)

Poderá, no entanto, haver situações em que o velho ditado “uma imagem vale mais do que mil palavras” é adequado e sobrepõe-se ao corolário “uma imagem requer para carregar o tempo de duas mil palavras significativas”. (Nielsen, J. 2000)

Nos sistemas multimédia, as imagens são uma preciosa forma de comunicar. Contudo, deve-se ter atenção ao seu tamanho em termos de bits. O tamanho da imagem varia consoante o número de pixéis, o número de cores e compressão utilizada. (Marques, C. 2002)

Presentemente, a maioria das imagens na Web são em formatos GIF (Formato Gráfico de Troca - Graphic Interchange Format) e JPEG (Grupos Periciais Unidos de Fotografia - Joint Photographic Experts Groups).

O formato GIF utiliza uma visualização a 8 bits, ou seja, 256 cores (cada pixel é representado por 8 bits de memória), enquanto o formato JPEG utiliza uma visualização de qualidade fotográfica a 24 bits, ou seja, 16,7 milhões de cores (cada pixel é representado por 24 bits de memória - 8 bits para cada uma das cores primárias: vermelho, verde e azul).

Na prática, os criadores de conteúdos utilizam o formato GIF para a maioria dos elementos da página, e optam pelo formato JPEG para fotografias e ilustrações práticas. (Lynch, P.; Horton, S. 1999)

3.13. Gráficos 3D

É quase sempre preferível utilizar gráficos bidimensionais (2D) do que tridimensionais (3D), a utilização de gráficos 3D num computador causa um conjunto de dificuldades:

- i) O monitor e o rato são dispositivos a 2D; consequentemente, não é possível obter uma verdadeira manipulação a 3D.
- ii) É difícil controlar o espaço 3D com as técnicas de interactividade que são actualmente comuns, pois foram designadas para manipular 2D (por exemplo, o arrastamento e o rolamento).
- iii) O utilizador necessita de prestar mais atenção na navegação a 3D do que a 2D porque a navegação tridimensional requer controlos extra de deslocação, ampliação, e redução.
- iv) Resoluções de ecrã fracas tornam impossível a texturização (rendering) dos objectos com o pormenor suficiente para serem reconhecidos; além disso, o texto de fundo fica ilegível.
- v) As aplicações necessárias para visualizar conteúdos 3D normalmente não são padronizadas e requerem o carregamento (download) de aplicações extra. (Nielsen, J. 2000)

O uso de 3D pode ser apropriado quando há necessidade de visualização física dos objectos que precisam de ser compreendidos na sua forma sólida, como por exemplo:

- i) Cirurgia: planeamento do local onde fazer incisões num paciente.
- ii) Arquitectura: maquetas e optimização da ocupação do espaço físico.
- iii) Química: estudo da estrutura de uma molécula. (Nielsen, J. 2000)
- iv) Física: estudo de modelos científicos.
- iv) Astronomia: estudo do Universo.

3.14. Animações, áudio e vídeo

Animações, áudio e vídeo são média de natureza dinâmica. Apresentam, por isso, um enorme potencial para cativar a atenção do utilizador. A sua integração em experiências multimédia pode promover a aprendizagem, mas também pode causar problemas.

A aprendizagem só será efectiva se a selecção e utilização de cada um destes media for determinada pela sua função no contexto de aprendizagem; caso contrário poderá contribuir para distrair os alunos desviando a sua atenção dos conceitos importantes a aprender. Este princípio de usabilidade deve ser complementado com um outro: oferecer controlo ao utilizador nos media de natureza dinâmica. (Boyle, T. 1997)

A animação, através de imagens ou de texto, tem um poderoso efeito na visão periférica humana, fixando o olhar do leitor. A sua utilização para demonstrar processos é usual, contudo, a sua má utilização pode torná-la num elemento distrator, provocando a desconcentração do utilizador. A animação apenas é aconselhável quando utilizada segundo sete propósitos: (Nielsen, J. 2000) (Boyle, T. 1997)

- i) Mostrar continuidade nas transições;
- ii) Indicar dimensão nas transacções;
- iii) Ilustrar mudanças no tempo;
- iv) Visualizar vários objectos no mesmo espaço;
- v) Enriquecer apresentações gráficas;
- vi) Visualizar estruturas tridimensionais;
- vii) Atrair a atenção. (Boyle, T. 1997)

O áudio é uma representação da variação de pressão das ondas transmitidas pelo ar por meio de ondas eléctricas. Essa representação pode ser feita de forma digital, passando a designar-se de áudio digital, ou através de instruções que contêm informação acerca de instrumentos, notas, tempos, etc., de um som, designando-se por representação MIDI (Musical Instrument Digital Interface). (Coutinho, P. 1997)

Trata-se de um elemento aliciante em qualquer sistema multimédia em que figure, embora necessite de alguma cautela na frequência de utilização e nos recursos que requer. A utilização constante de um elemento áudio pode ser sinónimo de repulsão, se o leitor o considerar detestável. Por outro lado, é preciso ter a certeza de que todos os utilizadores possuem os recursos necessários para o reproduzir. Outro aspecto importante é criar um mecanismo que permita desligar o elemento áudio sempre que o utilizador o desejar. (Boyle, T. 1997)

O maior benefício do áudio é poder utilizar voz, música e sons especiais em complemento da informação apresentada no ecrã. Tal é possível porque o canal de áudio transmite informação que é percebida pelo sentido auditivo. Logo não entra em colisão com a informação transmitida pelo ecrã que é percebida pela visão.

Contudo, a integração de voz em ambientes de aprendizagem multimédia deve respeitar um conjunto de princípios genéricos: segmentos de conversação curtos, manejáveis, integrados e complementares ao texto. (Nielsen, J. 2000) (Boyle, T. 1997)

O vídeo é normalmente o media mais exigente em termos de recursos de hardware e software. Em virtude da quantidade de dados associada a este tipo de informação, as técnicas de compressão, nomeadamente a MPEG (Motion Picture Experts Group), são elementos fundamentais, seja qual for o fim planeado para utilização desta representação. (Coutinho, P. 1997)

Os vídeos disponíveis nos sistemas multimédia são curtos e geralmente servem de complemento ao texto e imagens. Ao ponderar a utilização de vídeo é necessário ter em atenção um conjunto de considerações adicionais:

- i) Na Web, a utilização de vídeo deve ser minimizada devido aos actuais constrangimentos da largura de banda;
- ii) A qualidade de produção de vídeo é normalmente fraca, porém os utilizadores esperam encontrar qualidade televisiva (broadcast) e sentem-se impacientes quando a qualidade não corresponde às suas expectativas;
- ii) A narrativa em vídeo é, por vezes, difícil de compreender especialmente se for em língua estrangeira (os utilizadores são capazes de compreender melhor se o mesmo conteúdo aparecer também na forma de texto pois têm tempo de o ler à sua própria velocidade e podem procurar palavras desconhecidas no dicionário). Para preservar o controlo do utilizador é aconselhável segmentar apresentações longas em pequenos capítulos, para que o utilizador os possa escolher a partir de um menu. (Nielsen, J. 2000)

3.15. Navegação

A interacção entre o utilizador e os diferentes blocos de informação que constituem um sistema multimédia encontra-se estreitamente associada ao conceito de navegação. A utilização de uma navegação bem estruturada ajuda a revelar a organização da informação e torna mais fácil o acesso à mesma. (Marques, C. 2002) (Dias, P.; Gomes, M.; Correia A. 1998)

Torna-se fundamental analisar as diversas estratégias de navegação utilizadas nos sistemas multimédia e o respectivo comportamento dos utilizadores, para determinar quais são as estratégias mais eficazes, quais os factores que as condicionam, quais os mecanismos de apoio à navegação mais eficientes e, principalmente, para verificar a sua influência na aprendizagem.

Existem cinco estratégias de navegação que os utilizadores adoptam na exploração de um sistema multimédia: (Marques, C. 2002)

- i) Varrimento (Scanning) - o utilizador percorre grande parte do sistema multimédia sem profundidade;
- ii) Pesquisa (Browsing) - o utilizador percorre o sistema multimédia até ser atingido determinado objectivo;
- iii) Procura (Searching) - o utilizador tenta esforçadamente encontrar um objectivo explícito;
- iv) Exploração (Exploring) - o utilizador tenta encontrar a extensão da informação dada;
- v) Deambulação (Wandering) - o utilizador percorre o sistema multimédia de uma forma não estruturada.

São os problemas inerentes à navegação que mais preocupam os autores de sistemas multimédia. O problema da navegação é tanto mais importante quanto quem está no controlo das operações nos sistemas multimédia é o utilizador e não o autor ou designer do sistema. O utilizador é quem decide qual a informação por que quer começar e é ele também quem decide quais as ligações que quer seguir. (Marques, C. 2002) (Caldeira, P. 1998)

A navegação deve ser assegurada em todas as páginas, fazendo uso de ligações em barras de navegação, menus, índices, imagens, texto, etc.. Quando as ligações são realizadas através do texto designam-se de hiperligações. Ao criarem-se hiperligações deve ser evitada a criação de uma hiperligação sempre que uma palavra-chave é mencionada no texto, bem como hiperligações a partir de títulos longos.

Nas hiperligações devem utilizar-se as cores convencionais: azul para hiperligações não visitadas, e vermelho ou púrpura para hiperligações já visitadas. O objectivo é permitir ao utilizador uma visão clara dos conteúdos que já visitou e aqueles que estão por explorar, acelerando a sua navegação. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003) (Nielsen, J. 2000) (Lynch, P.; Horton, S. 1999) (Marques, C. 2002)

Muitas das soluções possíveis para os problemas de navegação podem estar ao nível dos mecanismos de auxílio à navegação, sugerindo a utilização de mecanismos de retorno, visitas guiadas, marcadores, listas históricas, mapas de navegação e diagramas. (Nielsen, J. 2000)

Os mecanismos de retorno constituem uma ajuda preciosa já que permitem voltar a aceder ao último nó visitado. As visitas guiadas, embora sejam um dos mecanismos de apoio à navegação mais eficientes, contrariam o princípio da não linearidade associada aos sistemas multimédia, sendo recomendáveis apenas para utilizadores inexperientes.

O mapa de navegação fornece ao utilizador uma visão global do sistema multimédia, sendo um dos mecanismos de apoio à navegação mais controverso, já que em algumas situações a sua utilidade é considerada nula, designadamente quando os elementos estão muito interrelacionados. A utilização de um índice de conteúdos pode constituir igualmente um precioso mecanismo de auxílio à navegação pois facilita a compreensão da organização da informação.

A interface de navegação deve ajudar os utilizadores a encontrarem resposta a três questões de navegação: (Marques, C. 2002)

- i) Onde estou - where am I;
 - ii) Onde estive - where have I been;
 - iii) Onde posso ir - where can I go.
- (Nielsen, J. 2000)

A resposta a estas questões pode ser facilitada com recurso a hiperligações (hyperlinks) de páginas, que podem ser agrupadas em três formas principais:

- i) Hiperligações de estrutura. Hiperligações que delineiam a estrutura de navegação no espaço de informação e permitem o acesso a outras partes do espaço. Exemplos típicos são botões ou hiperligações para a página principal e para o conjunto de páginas subordinadas à página corrente.
- ii) Hiperligações de associação. Hiperligações que são colocadas nos conteúdos das páginas e que assumem normalmente a forma de palavras sublinhadas (embora também possam ser imagens) e endereçam páginas com mais informação acerca do texto assinalado.
- iii) Hiperligações de referências adicionais. Hiperligações que visam ajudar os utilizadores a encontrarem mais informação acerca do conteúdo em causa e assumem normalmente a forma de hiperligações do tipo “Ver ainda” (See also). (Nielsen, J. 2000)

Deve evitar-se o “clique aqui” como texto de uma hiperligação. O objectivo de uma hiperligação é ajudar os utilizadores a preverem o que irá acontecer se acederem a essa hiperligação. Por isso, é recomendável que o texto da hiperligação seja elucidativo.

O esquema de página deve ser a primeira consideração a ter num projecto de produção de conteúdos multimédia. A página é dividida em secções e, para cada secção, é determinado o tipo de informação que nela será apresentado. É ainda especificada a cor de fundo da página e são definidos os estilos para títulos, subtítulos, texto, ligações a outras páginas, elementos de navegação, etc. Tem de ser estabelecido um esquema de página simples, lógico, consistente, e previsível que será utilizado em todas as páginas. (Lynch, P.; Horton, S. 1999)

Um esquema de página e uma navegação consistentes tornam a estrutura do e-curso mais memorável, direccionam a atenção dos alunos para os conteúdos, e asseguram uma continuidade visual na navegação. Um outro benefício é permitir a incorporação imediata de conteúdos (texto, gráficos e multimédia) em cada página nova mantendo o estilo e a aparência visual. (Lima, J.; Capitão, Z. 2003) (Lynch, P.; Horton, S. 1999)

Embora a página principal e as páginas interiores devam utilizar o mesmo estilo de página (para preservar o princípio da consistência) existem algumas características que as diferenciam:

- i) Na página principal não deve existir o botão (ou hiperligação) “Página principal”.
- ii) Nas páginas interiores o logótipo deve servir como hiperligação para a página principal.
- iii) Nas páginas interiores é necessário haver um botão (ou hiperligação) explícito para a “Página Principal”.

Infelizmente, nem todos os utilizadores compreenderam ainda a utilização do logótipo como hiperligação para a página principal. Por conseguinte, enquanto esta convenção não estiver familiarizada é necessário ter um botão (ou hiperligação) explícito para a página principal. (Nielsen, J. 2000)

3.16. Metáforas

Antes da era digital a utilização de símbolos gráficos já se destacava em vários aspectos do dia-a-dia: sinais de trânsito, casas de banho, elevadores, embalagens, banda desenhada, publicidade, entre outros. As metáforas também estão presentes nos símbolos dos aparelhos de rádio e de TV, no aparelho de ar condicionado, no microondas, na máquina de lavar, nos electrodomésticos, etc.

O recurso a metáforas pode acelerar a aprendizagem da interface, pois facilita a compreensão do propósito e da função das ferramentas de navegação, desde que as mesmas façam alusão a conhecimentos que o utilizador possui sobre referências do mundo real. A metáfora é um modelo preditivo do comportamento do universo, que permite identificar os traços comuns assim como as diferenças entre noções conhecidas e menos conhecidas. (Nielsen, J. 2000) (Marques, C. 2002)

Por exemplo, o “carrinho de compras” do comércio electrónico, o “controlador” de vídeo ou áudio, a “reciclagem” na exclusão de documentos, as “engrenagens” nas configurações, os “terminais interligados” nos locais de rede, são metáforas que permitem ao utilizador compreender de imediato a funcionalidade da interface. A metáfora do “*desktop*”, divulgada e popularizada pela *Macintosh*, é um exemplo clássico. Baseia-se nas experiências anteriores dos utilizadores já habituados a lidar com os recursos tradicionais de uma mesa de escritório.

Utilizando uma coerência no design dos diversos objectos de interface, como menus, janelas e ícones, o que o utilizador aprende sobre uma aplicação pode ser utilizado em outra. À medida que o utilizador aprende a usar várias aplicações que obedecem ao mesmo tipo de orientação, o tempo gasto na aprendizagem de cada nova aplicação será menor.

O design de metáforas deve estar intimamente ligado com o funcionamento do sistema. Quanto mais próxima a lógica de utilização estiver da lógica de funcionamento de uma aplicação, melhor será a sua interacção com o utilizador. (Nielsen, J. 2000) (Marques, C. 2002)

Um exemplo clássico é o processador de texto *Word* da *Microsoft*, cuja interface é baseada numa máquina de dactilografar. Os utilizadores são levados a entender e interpretar os comandos e funções do processador de texto pelo estabelecimento dessa analogia com o uso de uma máquina de dactilografar convencional.

Isso é válido quando o utilizador já possui conhecimentos sobre a utilização da máquina de dactilografar. O conhecimento prévio do utilizador permite a geração de representações mentais que devem ser extraídos pelos designers durante a fase de concepção da interface gráfica como base para a elaboração de representações visuais.

A metáfora não tem a função de espelhar os objectos reais fielmente, mas apenas fazer referência a estes. A metáfora em si não garante que uma aplicação ou página web possua uma boa usabilidade, mas indica o que se pode fazer e esperar da interface.

Existem casos, em que um elemento da interface está apenas disponível para diminuir expectativas ou satisfazer necessidades psicológicas, sem adicionar nenhuma funcionalidade real. Por exemplo, as mensagens que dizem “carregando” ou “conferindo dados” na transição de uma página para outra, muito comuns em interfaces online. Estas mensagens estão presentes apenas para transmitirem a mensagem (feedback) ao utilizador de que o sistema está activo e a funcionar após uma interacção. (Hiratsuka, T. 1996)

Um exemplo clássico de como as metáforas no mundo digital podem ganhar vida e funcionalidade próprias sem espelharem objectos do mundo exterior e ainda assim manterem um bom nível de usabilidade é o caso da utilização de janelas nos sistemas operativos. A metáfora da janela pode parecer próxima da realidade: abre-se uma janela e através dela podemos ver objectos. No entanto, a semelhança entre a metáfora e a realidade termina aí.

No mundo real, não se abre uma janela para utilizar uma calculadora ou um bloco de notas. Na verdade, a metáfora que os sistemas operativos utilizam, é mais semelhante a gavetas do que a janelas. Todavia uma gaveta não revela o que contém até que seja aberta. Foi neste ponto que a metáfora da janela ganhou, na ideia de reconhecer um objecto antes de interagir com ele.

Embora o objecto real e a metáfora divirjam, mesmo assim transmite familiaridade ao utilizador, o que permite ir mesmo para além da metáfora. Enquanto no mundo real abre-se uma janela e através dela é possível ver objectos, nas janelas de um sistema operativo o utilizador pode ter acesso a funcionalidades que o objecto real, neste caso uma janela, não proporciona: alcançar, manipular, utilizar e organizar objectos.

Actualmente, a interface Homem-Computador tem-se esforçado para suportar as necessidades da multimédia, como o reconhecimento de voz, acompanhar os movimentos dos olhos e do corpo, animações, vídeo, entre outras. As metáforas têm caminhado para uma interface de realidade virtual em direcção a uma interface que seja invisível para o utilizador. (Hiratsuka, T. 1996)

3.17. Orientações gerais para a produção de e-conteúdos

Para uma moderna equipa de desenvolvimento de e-cursos os recursos, as ferramentas e as facilidades existentes actualmente são incomensuravelmente superiores às disponíveis há alguns anos atrás. As inovações decorrentes dos avanços das tecnologias de informação e comunicação muito têm contribuído para isso e perspectiva-se que continuarão a ter um impacto crescente.

Esse impacto revela-se em duas vertentes. Por um lado, a acessibilidade a ferramentas tecnicamente evoluídas tem progressivamente menos custos financeiros, isto é, as ferramentas dispõem de mais funcionalidades e características mas o seu custo diminui. Por outro lado, essas ferramentas vão evoluindo e exigem uma curva de aprendizagem menos acentuada, o que significa uma certa facilidade da sua utilização com a consequente expansão do seu uso a utilizadores com conhecimentos técnicos mais reduzidos.

Nesta contextualização a produção de e-conteúdos assume já contornos de uma produtividade elevada com muitos recursos acessíveis. Estão pois criadas as condições para que qualquer pessoa ou entidade possa produzir e-conteúdos, dependendo a sua qualidade técnica e funcional da criatividade, apetência e conhecimento dos intervenientes.

Sabe-se também que e-cursos com uma boa usabilidade orientam a atenção e o tempo de aprendizagem para o que é realmente importante, ou seja, os conteúdos. Reconhecendo a sua importância, resta assinalar os aspectos importantes na estruturação de e-conteúdos:

- i) Organização do e-curso numa estrutura familiar ao aluno (unidades, lições e tópicos) centrando de imediato a atenção dos alunos nos conteúdos a aprender, eliminando assim a necessidade do aluno consumir inicialmente tempo na aprendizagem com a adaptação a um novo estilo de organização do e-curso.
- ii) Especificação dos objectivos da instrução. À semelhança do ensino tradicional é necessário esclarecer os alunos do que é esperado que consigam realizar no final da instrução.
- iii) O nível cognitivo expresso nos objectivos da instrução deve ser congruente com o nível cognitivo expresso nos conteúdos e nas questões de avaliação.

iv) A interacção aluno-conteúdo e a interacção intra-pessoal são formas de interactividade fundamentais para o envolvimento e sucesso do aluno na aprendizagem. Dependendo do contexto de aprendizagem, a interacção social (aluno-professor/formador e aluno-alunos) poderá ser outro tipo de interactividade importante a considerar.

(Lima, J.; Capitão, Z. 2003)

A selecção e a aplicação de estratégias apropriadas de ensino são um procedimento vital na estruturação dos e-conteúdos. No entanto este procedimento não é suficiente para promover a aprendizagem.

Além das estratégias de instrução (domínio cognitivo) é igualmente necessário integrar estratégias de motivação (domínio afectivo) no fluxo da instrução, porque os dois domínios estão intrinsecamente ligados. Em seguida é apresentado um conjunto de recomendações que devem ser seguidas para a incorporação de multimédia na instrução:

i) Simplicidade e consistência no design de texto, gráficos, animações, vídeo e áudio. A simplicidade e consistência eliminam a sobrecarga cognitiva.

ii) Não distrair a atenção dos alunos incorporando elementos desnecessários na apresentação multimédia. Utilizar componentes multimédia com o objectivo de reforçar e não distrair a aprendizagem.

iii) Utilizar componentes multimédia para sinalizar conceitos importantes e captar a atenção do aluno.

iv) Combinar cores de forma atractiva.

v) A multimédia deve transportar informação e não ser apenas uma peça de arte.

vi) Manter o tamanho do gráfico/animação/vídeo/áudio tão pequena quanto possível.
(Lima, J.; Capitão, Z. 2003) (Khan, B. 1997)

3.18. Concepção de e-conteúdos

A concepção de conteúdos é uma das fases mais importantes de todo o processo, exigindo muito tempo e diversas competências. Antes de iniciarmos o processo de desenvolvimento de software podemos destacar várias fases:

- i) Fase preliminar, em que se faz a escolha do suporte pedagógico de formação que é em função do tipo de conteúdo a disponibilizar, do acompanhamento remoto e de outros factores (contexto, distância, custos, prioridade, população a formar, tipos de equipamento);
- ii) Fase intermédia, em que se faz a especificação do projecto de formação e que é caracterizada pela definição detalhada do produto final e do correspondente cronograma, a planificação e o ambiente de aprendizagem;
- iii) Fase final em que é elaborado o guião multimédia com as sequências de aprendizagem.

A concepção e o desenvolvimento de conteúdos para e-formação devem basear-se nos pressupostos dos processos de ensino assente na auto-aprendizagem. Os requisitos básicos da construção de um bom conteúdo são o controlo, a organização, a condução e a decisão sobre o método de estudos efectuados pelo aluno, sendo também útil fornecer ao aluno um guia de aprendizagem.

É fundamental saber o que o aluno quer aprender, obedecendo o percurso de aprendizagem à seguinte distribuição clássica: curso→capítulos→sub-capítulos→unidades. Podemos falar aqui numa arquitectura global do curso caracterizada por um objectivo que define as competências: o que o aluno deverá ser capaz de fazer depois de percorrer e estudar todo o curso, os pré-requisitos que definem o saber-fazer e o que deve conhecer cada aluno antes de iniciar cada capítulo e a duração aproximada (estimação) do tempo médio de aprendizagem.

Os suportes pedagógicos normalmente utilizados são CD-ROM, DVD-ROM, manuais, web, vídeo, catálogos ou papel e bons guias de aprendizagem, sendo igualmente importante o aluno ter acesso a informação clara antes do curso e do início de cada capítulo. (Araújo, A. 2005) (Santos, A. 2000)

4. Concepção e desenvolvimento

4.1. Introdução

O sítio na internet “e-Astro: O e-learning aplicado ao ensino da Astronomia” foi desenvolvido durante a elaboração da presente dissertação para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Física para o Ensino e no âmbito do projecto MASTER - Multimedia Advanced Science Teaching Resources.

O objectivo do projecto MASTER é a elaboração de uma estrutura de natureza pedagógico-científica dedicada ao desenvolvimento, divulgação, dinamização e avaliação de serviços e produtos multimédia na área da Física e da Química destinados a alunos e professores do ensino básico, secundário e superior e à população em geral.

No decorrer das actividades do projecto foi criado o sítio <http://www.master.uevora.pt> que encontra-se alojado no servidor da Universidade de Évora. Ao abrir a página de entrada do projecto MASTER o utilizador entra em um antigo laboratório onde pode estudar vários conteúdos científicos. Ao explorar este laboratório o utilizador é levado a clicar no archote ou no telescópio.

Ao clicar no telescópio a câmara desloca-se, permitindo ao utilizador olhar através dele e assim aceder ao sítio na internet e-Astro (disponível em <http://www.master.uevora.pt/e-astro/>, ou no DVD-ROM incluído com a dissertação).



Figura 1 - Acesso ao sítio e-Astro a partir da página do projecto MASTER

4.2. Concepção da aplicação de e-learning e-Astro

A metáfora utilizada no design da aplicação assenta na ideia de um antigo observatório mecanizado que transporta o utilizador pelo sistema solar. Ao aceder à página de entrada, o utilizador observa painéis metálicos impulsionados por um antigo mecanismo de rodas dentadas e parafusos que se movem até ocuparem as posições laterais e inferior do ecrã.

Desta forma é formado um enquadramento onde é possível ver a Lua a aparecer no campo de visão, como se o utilizador apontasse um telescópio para o satélite terrestre. Em seguida, o título da dissertação de mestrado, que partilha o nome com o sítio a que deu origem, aparece sobre a Lua, chamando a atenção do utilizador para essa zona da janela. Ao passar o ponteiro sobre o satélite terrestre, este ilumina-se, indicando que é possível uma interação nessa zona do ecrã.

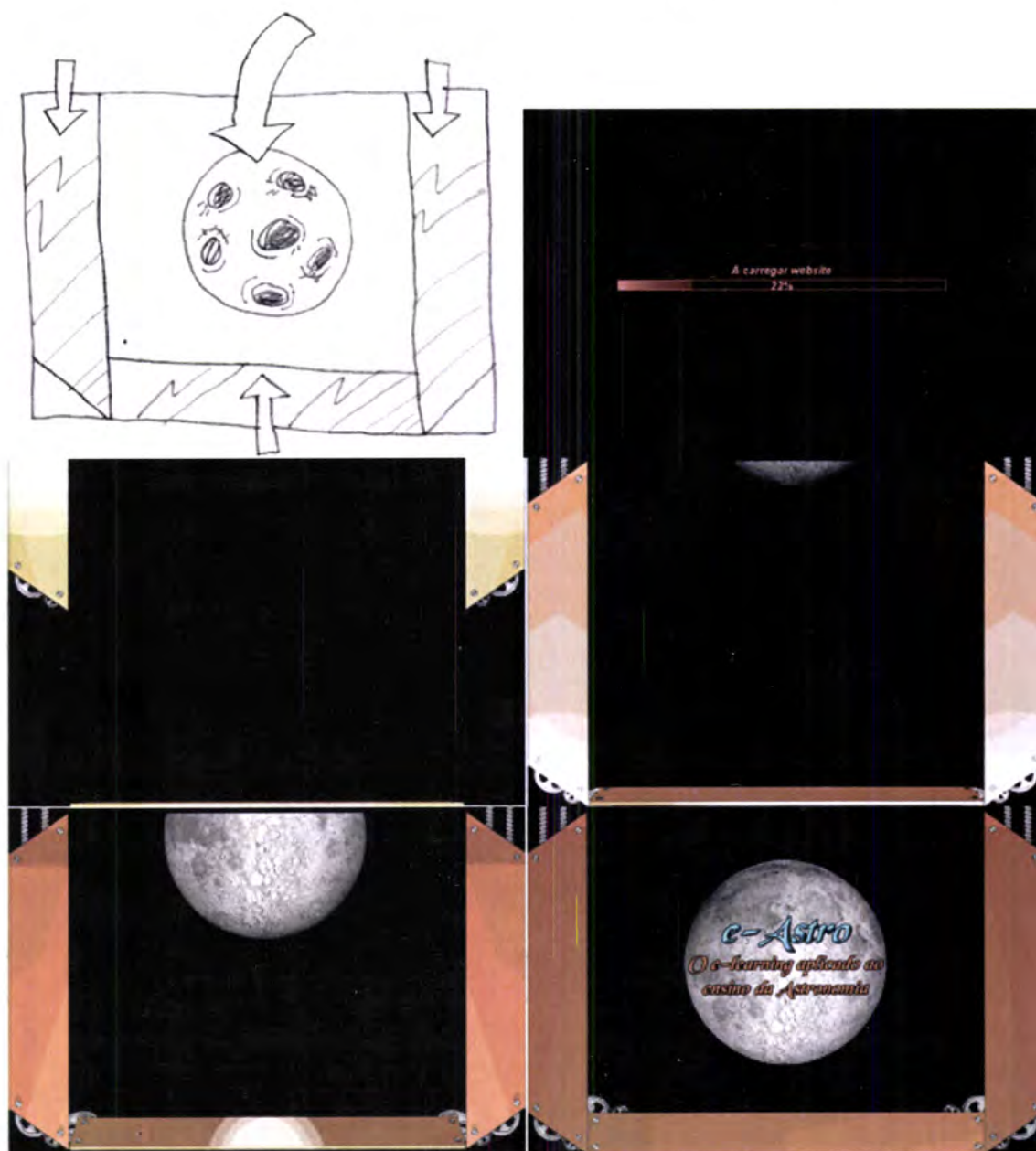


Figura 2 - Esboço original e sequência de entrada no sítio e-Astro

Ao clicar na zona iluminada, o utilizador afasta-se rapidamente da Lua e o campo de visão aumenta até abranger todo o sistema solar. Nos painéis laterais é agora possível escolher o próximo destino na viagem pelo sistema solar. Foi escolhido um tipo de letra com aspecto antigo, que se enquadrasse na metáfora utilizada, mas que fosse de fácil leitura.

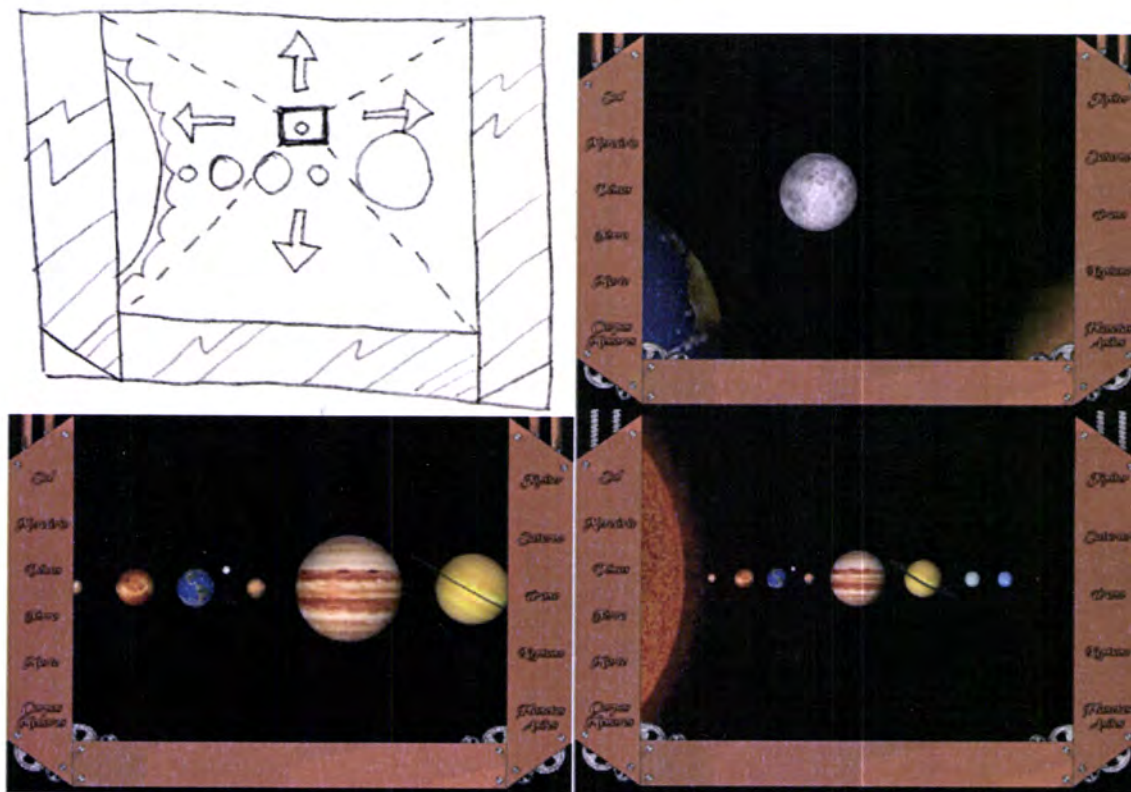


Figura 3 - Esboço original e sequência de entrada no Sistema Solar

Ao passar com o ponteiro do rato sobre as palavras apresentadas nos painéis laterais, o contorno destas ilumina-se e um som é reproduzido, indicando uma zona de interacção. Durante a fase de testes notou-se que muitos utilizadores tinham a tendência de tentar clicar nas imagens dos planetas para deslocarem-se para o destino pretendido, possivelmente induzidos pela sequência de entrada no sítio e-Astro em que eram levados a clicar no globo da Lua. Para melhorar a usabilidade da interface essa funcionalidade foi posteriormente acrescentada.



Figura 4 - Pormenor do menu do Sistema Solar

Ao clicar no nome do astro o utilizador é levado rapidamente para o destino escolhido, o campo de visão reduz-se até englobar apenas o astro pretendido. Novos painéis metálicos surgem dos cantos do ecrã, formando outro enquadramento, que se dirige para o canto superior esquerdo. Nesse pequeno ecrã é possível observar o escolhido astro numa rotação perpétua.

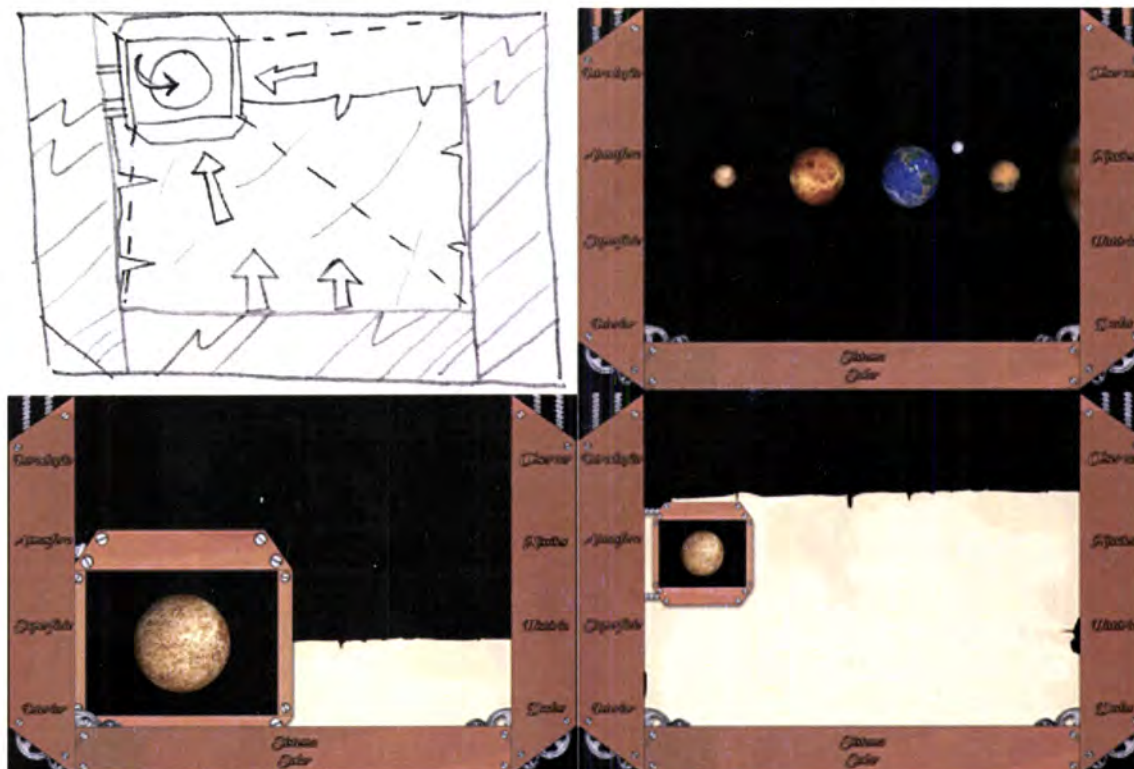


Figura 5 - Esboço original e sequência de entrada no Astro

Simultaneamente é desenrolado um pergaminho, num movimento ascendente, até ocupar a totalidade do espaço disponível no enquadramento formado pelos painéis metálicos maiores. Nesse pergaminho é escrita a informação referente ao astro em questão. Tentou-se encontrar um equilíbrio entre a legibilidade do tipo de letra utilizado e o aspecto antigo necessário à metáfora aplicada no design do website. O pergaminho serve de pano de fundo tanto para a informação escrita como para as animações, vídeos e imagens que complementam o texto.

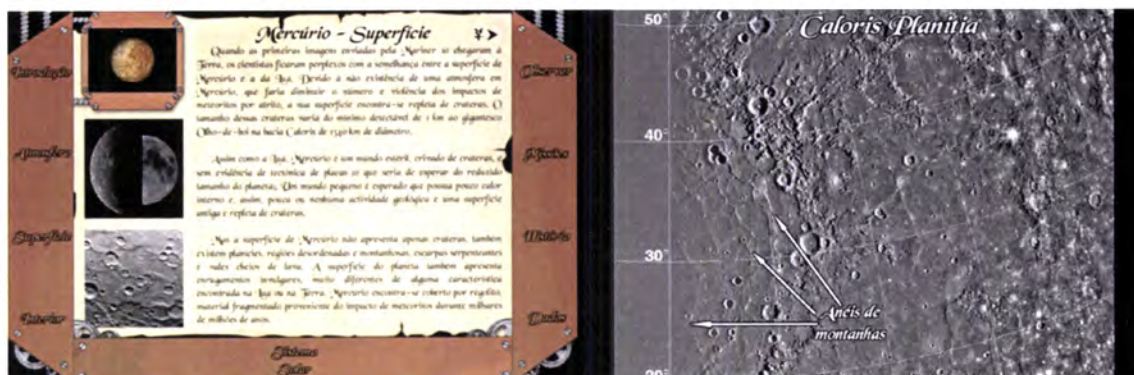


Figura 6 - Exemplo de imagens legendadas



Figura 7 - Exemplo de animação em Flash

No pequeno ecrã no canto superior esquerdo, é possível visualizar vídeos em streaming. Ainda em fase de testes encontra-se a ligação aos canais públicos da NASA TV, que é distribuída através de tecnologia e formato proprietários da *Microsoft* pelo que não é possível ser visualizada utilizando os ficheiros nativos da *Adobe*. A forma encontrada para lidar com esta questão foi projectar o *stream* da NASA TV utilizando um ficheiro externo em HTML.



Figura 8 - Exemplo de vídeo e da NASA TV

Nos painéis laterais é possível aceder aos capítulos abordados em cada um dos astros: *Introdução*, *Atmosfera*, *Superfície*, *Interior*, *Observar*, *Missões*, *História* e *Dados*. No painel inferior é possível voltar para a visão global do sistema solar e escolher um novo destino.

Para futura implementação no painel inferior, fica a possibilidade do utilizador ligar e desligar a música de fundo e os efeitos sonoros, aceder a outros conteúdos e temas, viajar para outros locais do Universo, ou mesmo aceder a aulas e materiais didácticos para um curso de Astronomia ministrado em regime de e-learning ou de b-learning.

4.3. Desenvolvimento da aplicação e-learning e-Astro

O desenvolvimento do sítio na internet e-Astro foi realizado recorrendo a vários softwares proprietários de diferentes empresas. O sistema operativo utilizado durante o processo de desenvolvimento foi o *Windows XP Professional Edition* para computadores de 32-bits, produzido pela *Microsoft*, que oferece recursos adicionais e é direccionado para utilizadores avançados e empresas.

Para a criação e edição das páginas de internet foi utilizado o programa *Dreamweaver CS3* da *Adobe*, um software que incorpora um notável suporte para várias tecnologias Web, tais como XHTML, CSS, JavaScript, Ajax, PHP, ASP, ASP.NET, JSP, ColdFusion e outras linguagens. O desenvolvimento da aplicação foi realizado no programa *Flash CS3 Professional* da *Adobe*, um software utilizado para a criação de animações interactivas e de aplicações para a Web.

A edição de imagens foi realizada nos programas *Fireworks CS3* da *Adobe*, um editor de imagens desenvolvido para a publicação gráfica na Web com uma óptima tecnologia de compressão de imagens e *Photoshop CS3* da *Adobe*, o principal software de edição de imagens utilizado por editores de imagem profissionais.

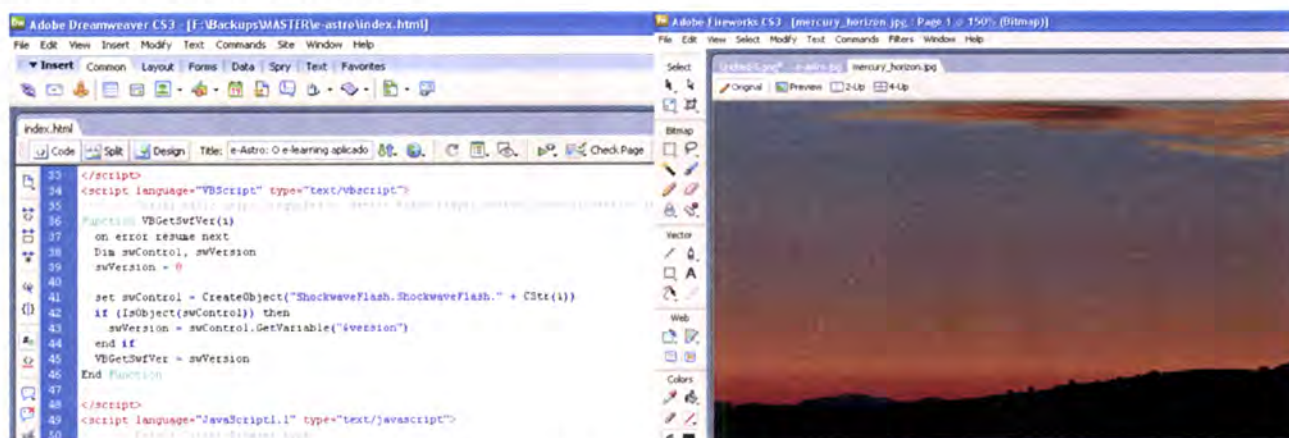


Figura 9 - Desenvolvimento em Dreamweaver e Fireworks CS3 da Adobe

A modelagem dos objectos 3D e animação dos vídeos *raster* foram efectuadas recorrendo ao programa *3DS Max 9* da *Autodesk*, um software de modelagem tridimensional que permite a renderização de imagens e animações *raster*, utilizado na produção de filmes de animação 3D, personagens de jogos 3D, anúncios para televisão maquetas electrónicas, entre outras aplicações.

A conversão dos vídeos para formatos nativos às aplicações Adobe foi realizada com o programa *Flash CS3 Video Encoder* da *Adobe*. A modelagem dos objectos 3D para animações vectoriais foi efectuada recorrendo ao programa *Swift 3D 4.5* da *Electric Rain*, um software de modelagem tridimensional que permite a renderização de imagens e animações vectoriais, voltado para aplicações Web.

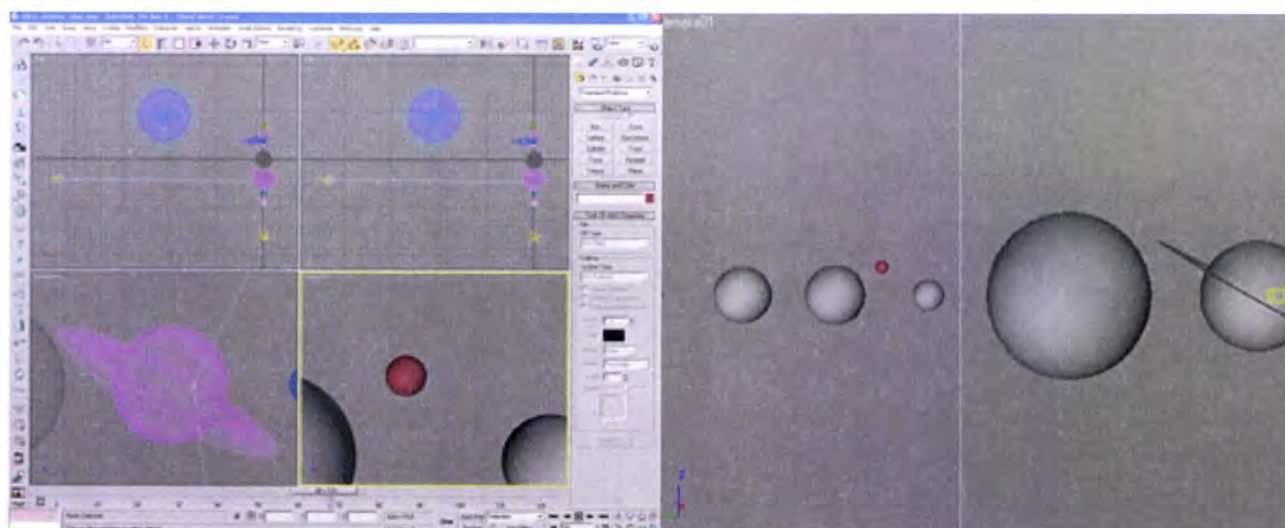


Figura 10 - Desenvolvimento em 3DS MAX 9

Na fase de testes de usabilidade do e-Astro foi utilizado o sistema operativo *Ubuntu 8.10*, uma distribuição do sistema operativo *Linux* baseado na distribuição *Debian* e o explorador de internet *Firefox 3* desenvolvido pela Mozilla Foundation, um navegador leve, seguro, intuitivo e extensível, ambos de código aberto também conhecido como software livre (Open-source).

Alguns testes de utilização da aplicação também foram realizados no explorador de internet *Internet Explorer 7* de licença proprietária da *Microsoft*, que se encontra a perder utilizadores para o *Firefox* da *Mozilla Foundation* que é usado actualmente por 46,5% dos internautas. (W3Shools 2009)

A conjugação de todas estas ferramentas de desenvolvimento permitiu criar uma experiência multimédia rica e apelativa, com uma distribuição fácil através da internet ou de suporte óptico como CD-ROM ou DVD-ROM. Durante a fase de design tentou-se manter uma consistência na apresentação dos conteúdos e da navegação do website.

A elaboração da aplicação totalmente em *Flash* permitiu obter independência do browser utilizado e adaptabilidade à resolução do ecrã. A maioria dos browsers possui o *Flash Player* o que permite visualização do site por mais de 98% dos internautas sem a necessidade de instalar software adicional. (Adobe Flash Player 2009)

Apesar do sítio e-Astro ter sido pensado para utilizadores com velocidades de acesso relativamente altas à internet, foi dividido em segmentos que são carregados sempre que se acede a uma área diferente. Esta técnica permite tempos de carregamento mais pequenos e a reutilização posterior desses segmentos.

Cada segmento é automaticamente descarregado e guardado temporariamente no disco rígido do utilizador, para poder ser reutilizado quando o utilizador retorna a uma área que já havia acedido anteriormente, acelerando a apresentação do site e aumentando a fluidez da navegação.

Um *preloader* com uma barra de progresso, informa o utilizador do processo de carregamento e mantém a sua atenção, diminuindo a possibilidade deste navegar para outro sítio. Para futura implementação fica a possibilidade de melhorar o aspecto gráfico da barra de progresso do *preloader*, cativando ainda mais a atenção do utilizador.

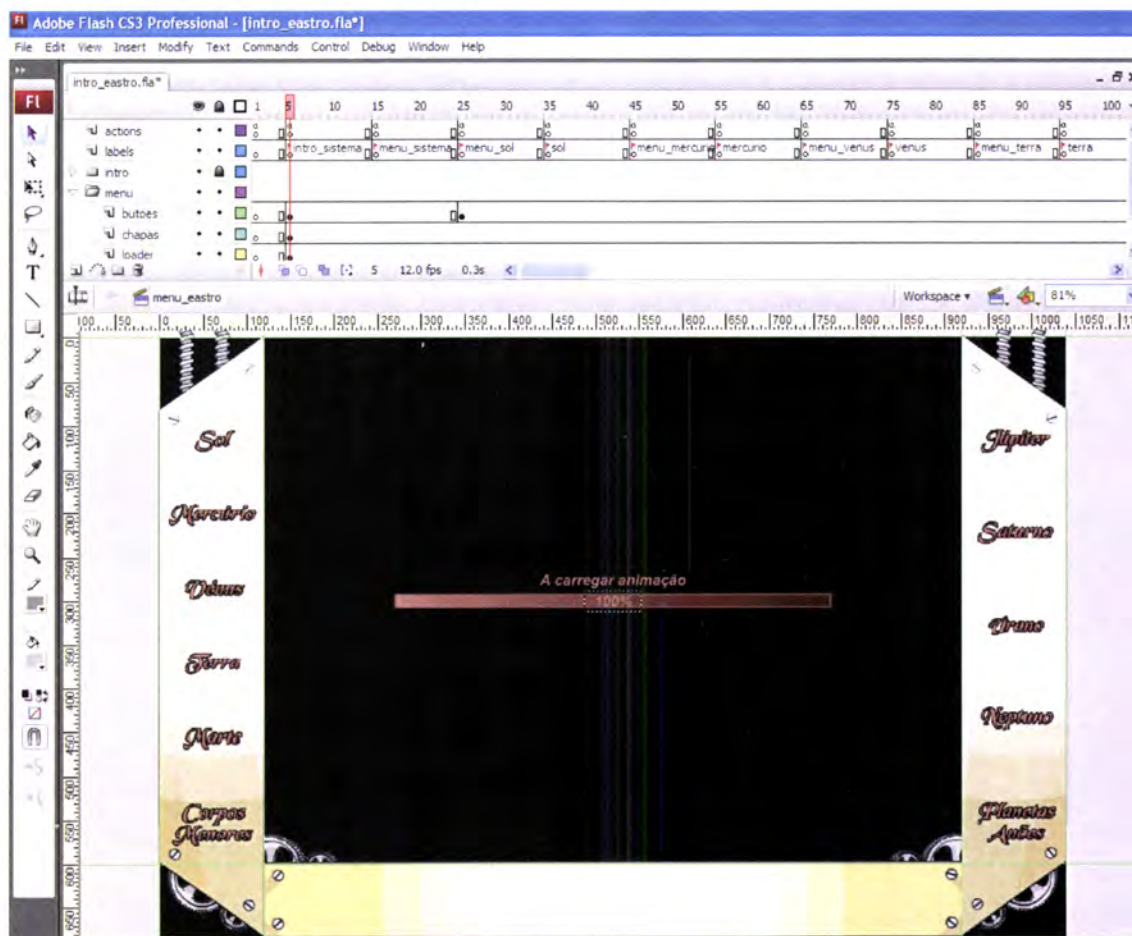


Figura 11 - Desenvolvimento em Flash CS3 Professional

A utilização de uma biblioteca de símbolos que é carregada no início da navegação permite que animações, barras e ícones de navegação possam ser reutilizados vezes sem conta em cada uma das áreas do sítio. Desta forma, o browser não necessita de descarregar novamente esses dados do servidor, o que diminui drasticamente o tempo de carregamento quando se acede a uma nova área da aplicação.

Através da utilização de *Actionscript* são carregadas animações *Flash* em diferentes zonas do ecrã, formando uma zona de navegação e uma zona onde são visualizados os conteúdos. Os textos que são apresentados nos pergaminhos provêm de uma fonte externa, e são formatados pela aplicação no momento em que são acedidos. Esta técnica permite manter o texto sob a forma de dados, que de outra forma iriam aumentar o tempo de carregamento, com a vantagem de se poder modificar esse texto sem fazer alterações no sítio e-Astro.

Para acelerar o carregamento e aumentar a fluidez dos vídeos disponíveis no website é utilizado um script em PHP que permite fazer o *streaming* do vídeo a partir do servidor da Universidade de Évora, com a vantagem do utilizador iniciar a visualização enquanto o browser acaba de carregar o vídeo. Por enquanto apenas existem os comandos de Pausa, Reprodução e Fechar, mas para futura implementação fica a possibilidade de aceder aos canais da NASA TV, neste momento ainda em fase de testes.

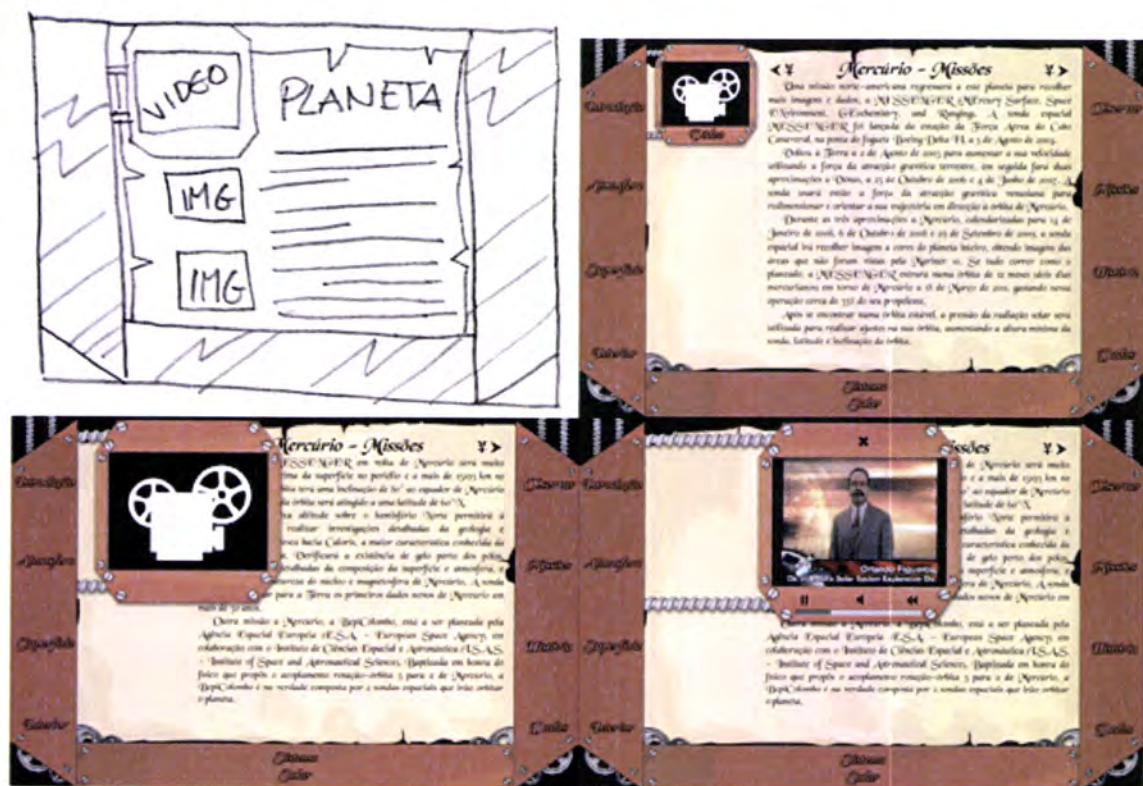


Figura 12 - Esboço original e sequência de vídeo

Algumas animações de partes do interface que se repetem no website e são utilizadas regularmente foram elaboradas utilizando o programa *Swift 3D*, que permite transformar animações de objectos 3D em animações vectoriais. Sendo animações vectoriais dão origem a ficheiros mais reduzidos, o que diminui o tempo de carregamento. A modelagem dos objectos 3D, a sua iluminação e animação foram feitas no *Swift 3D*.

Foi aplicado um contorno espesso nas arestas dos objectos e utilizadas poucas cores para lhes conferir um aspecto “cartoon”. Tentou alcançar-se um design gráfico que funcionasse dentro da metáfora escolhida e mantivesse uma consistência na apresentação do website. As animações vectoriais foram adicionadas à biblioteca de símbolos que é partilhada por todos os segmentos do website, possibilitando a sua reutilização e a diminuição do tempo de carregamento.

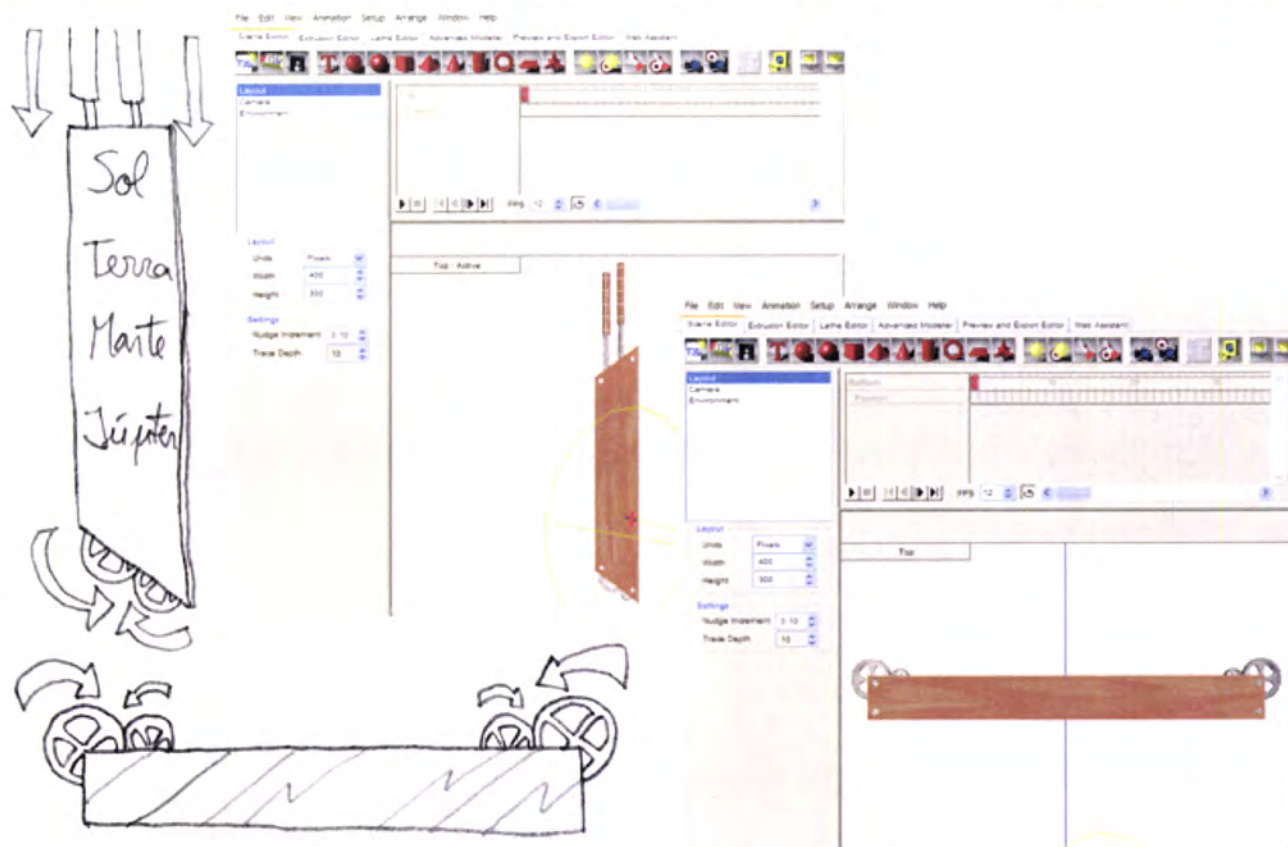


Figura 13 - Esboço original e desenvolvimento em Swift 3D 4.5

A modelagem, iluminação e animação das sequências de vídeo dos planetas do Sistema Solar foram realizadas no programa *3DS Max*. Cada um dos planetas foi modelado à escala a partir de esferas às quais foram aplicadas imagens das superfícies dos planetas. A partir da luminosidade e escuridão de diferentes zonas nas imagens das superfícies planetárias, foi inferido o relevo de cada planeta e modelado na esfera. Para posterior implementação fica a possibilidade de acrescentar satélites a todos os planetas e a cintura de asteróides do Sistema Solar.

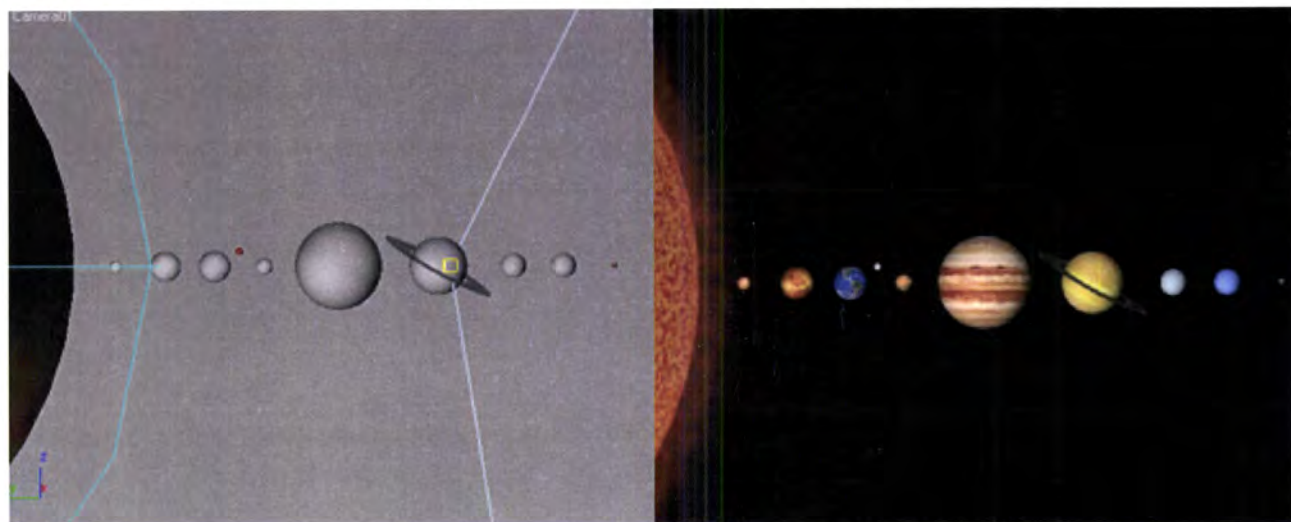


Figura 14 - Animação e renderização em 3DS Max 9

4.4. Validação da aplicação e-learning e-Astro

O World Wide Web Consortium (W3C) é um consórcio internacional fundado e dirigido por Tim Berners-Lee, inventor da World Wide Web, para levar a Web ao seu potencial máximo. O W3C possui diversos comités que estudam as tecnologias existentes para a Internet e desenvolvem padrões para a criação e a interpretação de conteúdos para a Web.

Desde a sua criação em 1994, o W3C publicou mais de 110 destes padrões, chamados Recomendações W3C. Sítios desenvolvidos segundo esses padrões podem ser acedidos e visualizados por qualquer pessoa ou tecnologia, independente do hardware ou software utilizados, de forma rápida e compatível com os novos padrões e tecnologias que possam surgir com a evolução da internet.

É um dever de todo desenvolvedor Web respeitar e seguir os padrões de acessibilidade do W3C, pois de outro modo poderá impor barreiras tecnológicas aos utilizadores, desestimulando ou até mesmo impedindo o acesso às suas páginas. (W3C About page 2009)

O desenvolvimento da aplicação de e-learning e-Astro foi efectuado tendo em conta as Recomendações W3C para HTML e CSS. A certificação de que esta aplicação para a internet obedece aos requisitos do World Wide Web Consortium foi obtida através do serviço online de validação do W3C.



W3C CSS Validation Service
Resultados da validação CSS do W3C para <http://www.master.uevora.pt/e-astro/> (CSS nível 2.1)

Ir para: [Alertas \(4\)](#) [CSS validada](#)

Resultados da validação CSS do W3C para <http://www.master.uevora.pt/e-astro/> (CSS nível 2.1)

Parabéns! Não foram encontrados erros na sua folha de estilo.

Este documento é válido para as [CSS nível 2.1](#)

W3C CSS

This document was successfully checked as HTML 4.01 Transitional!

Result:	Passed
Address:	http://www.master.uevora.pt/e-astro/
Encoding:	iso-8859-1 (detect automatically)
Doctype:	HTML 4.01 Transitional (detect automatically)
Root Element:	HTML

W3C HTML 4.01

Figura 15 - Validação e certificação HTML e CSS pelo W3C

4.5. Otimização para motores de busca

Nos milhares de milhões de páginas que existem na internet é muito difícil fazer um utilizador encontrar o nosso sítio na internet. A optimização de websites para motores de busca (SEO - Search Engine Optimization) é um conjunto de estratégias que tem como objectivo melhorar a posição de um sítio na internet nas páginas de resultados orgânicos dos motores de busca como o Google, Yahoo ou MSN. As estratégias de SEO podem melhorar tanto o número de visitas como a qualidade dos visitantes, que concluem a acção esperada pelo proprietário do sítio (ex: comprar um produto, subscrever uma assinatura, aprender algo).

Optimizar para motores de busca consiste muitas vezes em fazer pequenas modificações em determinadas partes das páginas do sítio. Quando vistas isoladamente, essas modificações podem parecer como uma pequena melhoria, mas quando combinadas com outras optimizações, podem ter um impacto perceptível no sítio e na experiência do utilizador, assim como no desempenho nos resultados orgânicos da pesquisa. (Guia Optimização Motores de Busca 2009)

Os motores de busca indicam diferentes tipos de listagens nas páginas de resultados, incluindo: publicidade paga nas páginas de resultados (SERP - Search Engine Result Pages), publicidade paga por clique (Pay-per-click), anúncios, inclusões pagas em sistemas de busca e resultados de busca orgânica. As listas de resultados de buscas orgânicas são baseadas na relevância de uma ou várias palavras-chave com as páginas de um sítio.

The screenshot shows a Google search for "baseball cards". At the top, the Google logo and search bar are visible. Below the search bar, the results are categorized into "Web", "Shopping", "News", and "Books". The "Web" results are divided into "Sponsored Links" (paid results) and "Organic Results" (unpaid results). The "Sponsored Links" section includes advertisements for "Baseball Cards" from Yahoo! and AOL, "Sell Your Baseball Cards" from eBay, and "Get Baseball Cards" from Baseball Boss. The "Organic Results" section includes links to "The Baseball Card Shop", "Baseball Card Value Price Guide", "Baseball Cards Only - The Ultimate Card Shop on the Web", and "Baseball Cards 1887-1914". The "Shopping" results section at the bottom lists various baseball cards for sale, including "2007 Upper Deck Black Baseball Trading Cards" and "Fleer MLB 2002 Fleer Premium Unopened Box".

Figura 16 - Disposição dos resultados orgânicos e pagos do Google

Mas será assim tão importante ter uma boa visibilidade nos resultados orgânicos dos motores de busca? Se pensarmos na nossa própria utilização de um motor de busca a resposta torna-se evidente. Com pouca regularidade digitamos um endereço na barra de navegação do explorador de internet (Browser), na verdade mais de 75% da navegação na internet é iniciada em um motor de busca.

Existem inúmeros motores de busca e este negócio tem vindo a crescer nos últimos anos. Um motor de busca está em permanente evolução para devolver resultados cada vez mais relevantes aos seus utilizadores e superar a concorrência. Assim, não existe uma fórmula mágica que garanta que as páginas de um sítio vão aparecer nos primeiros resultados de uma pesquisa.

Basicamente, cada motor de busca ordena os resultados de acordo com os seus próprios critérios que são normalmente secretos, pois constituem o factor chave para o sucesso da empresa. No entanto, existem uma série de princípios e regras que a maioria dos profissionais em SEO considera serem proveitosos para melhorar a visibilidade de um sítio.

Os resultados orgânicos são vistos com mais assiduidade e os utilizadores tendem, com a utilização regular de um motor de busca, a desenvolver uma visão selectiva de conteúdo, ignorando os resultados pagos. Existe também software desenvolvido com o intuito de remover publicidade e resultados pagos das páginas de internet e de pesquisa dos motores de busca, utilizado por um número crescente de internautas, tornando a importância dos resultados orgânicos cada vez maior.

Os utilizadores tendem a aceder primeiro aos resultados de busca orgânica, acedendo aos resultados pagos apenas quando não encontram o que procuram, o que demonstra uma maior credibilidade junto dos utilizadores dos resultados naturais. Para além disso, os utilizadores vêem os resultados da sua pesquisa, antes de darem o primeiro clique, em média em apenas 10 segundos e muito poucos utilizadores vão para além dos 10 primeiros resultados. Desta forma, a optimização dos conteúdos de um sítio na internet para uma maior visibilidade é sem dúvida um factor crítico de sucesso.

No meio da imensidão websites a melhor estratégia para sobressair começa por encontrar um nicho na internet e tentar direccionar o tráfego de utilizadores com esses interesses para o nosso sítio. Quando não se possuem muitos recursos técnicos e humanos não se pode esperar competir em igualdade de circunstâncias com os “pesos pesados” de uma determinada área, e a alternativa é tentar distinguir-se pela diferença, oferecendo conteúdos originais e relevantes.

Tendo os pressupostos anteriores em vista, o nicho de internet que se tentou explorar para o sítio e-Astro foi uma sobreposição de interesses em Astronomia e ensino à distância. Estabelecido o nicho, segue-se a escolha de um título descritivo para a página de entrada do sítio.

Um bom título para um sítio é muito importante para descrever o seu conteúdo. O título de uma página é a primeira informação que as pessoas examinam quando analisam os resultados devolvidos por um motor de busca, por isso o seu texto deve ser significativo.

O pior exemplo para o título de um sítio é o famoso “Bem-vindo ao website...”, que não informa absolutamente nada sobre a página. Apesar de ainda ser utilizado por algumas empresas e organizações importantes, a necessidade de visibilidade na internet aumentou o recurso a serviços de SEO que têm-se encarregado de retirar títulos deste género das páginas da internet.

Para melhorar a visibilidade de um sítio o título deve incorporar várias palavras-chave, utilizadas tanto na descrição como no endereço da página. Idealmente, deve ser criado um título único para cada página do sítio. Assim sendo, foi escolhido um título que incorporasse as três áreas principais de interesse do sítio: Astronomia, e-learning e ensino.

Título: *e-Astro: O e-learning aplicado ao ensino da Astronomia*

Quando o sítio aparece numa página de resultados, o conteúdo do título geralmente aparece na primeira linha dos resultados. As palavras do título aparecem a negrito quando coincidem com os termos utilizados na pesquisa. Isto pode ajudar o utilizador a decidir se a página é relevante para a pesquisa efectuada. (Guia Optimização Motores de Busca 2009)



Figura 17 - Sítio e-Astro nos resultados orgânicos do Google

A descrição da página fornece ao motor de busca um resumo do conteúdo dessa página. Enquanto o título de uma página pode ser uma frase, a descrição pode ser um breve parágrafo. A descrição é importante porque o motor de busca pode usá-la como fragmento para as páginas de resultados. No entanto, pode optar por utilizar uma secção relevante de texto visível na página ou a descrição no Dmoz - Open Directory Project se o sítio estiver aí listado.

Algumas palavras do fragmento aparecem a negrito quando coincidem com as palavras pesquisadas, o que dá ao utilizador indicações sobre a relevância do conteúdo da página para a sua pesquisa. (Guia Optimização Motores de Busca 2009)

Para aumentar a visibilidade do sítio nos motores de busca procurou elaborar-se uma descrição que transmitisse o objectivo final do site e utiliza-se um grande número de palavras pesquisadas regularmente na internet. As palavras mais procuradas no motor de busca Google, relevantes para o nicho estabelecido para o sítio e-Astro encontram-se na tabela seguinte. (Google Rankings 2009)

Palavras-chave	Volume de pesquisa no Google (1 mês)	Volume de tráfego nos anúncios do Google (1 ano)
ensino	368000	368000
terra	450000	301000
lua	246000	135000
planeta	165000	90500
planetas sistema solar	não disponível	40500
vénus	48500	33100
planetas solar	não disponível	33100
sistema solar	49500	27100
recursos didacticos	não disponível	27100
elearning	27100	22200
e learning	27100	22200
planetas	40500	22200
astro	33100	22200
planeta mercúrio	não disponível	18100
planeta terra	40500	18100
a lua	33100	18100
ensino distância	não disponível	14800
os planetas	não disponível	14800
astronomia	22200	12200
mercúrio	14800	9900
universidade évora	não disponível	9900
características planetas	não disponível	8100
universidade évora	8100	8100
astros	14800	6600
vénus	8100	5400
vídeos sistema solar	não disponível	4400
mercúrio	5400	3600
planeta marte	2900	1900
recursos educativos	2400	1900
ensino distancia	2400	1600
recursos multimédia	não disponível	1600
planeta vénus	1900	1300
planeta vénus	1900	1300
ensino a distancia	1600	1000
recursos ensino	não disponível	1000
elerning	1000	880
astronomia planetas	não disponível	720
recursos didácticos	880	720
ensino à distância	720	590
ensino a distância	320	390
astronomia marte	não disponível	320
ensino astronomia	não disponível	320
imagens astronomia	não disponível	170
curso astronomia	210	140
e astro	110	91
astronomia sistema solar	110	73
videos astronomia	58	36
e-learning	não disponível	não disponível

Tabela 1 - Palavras-chave mais relevantes para o sítio e-Astro

Com base numa análise cuidadosa do estudo anterior e com a preocupação de realizar uma saturação dessas palavras-chave para gerar melhores posições e várias repetições nas páginas de resultados dos motores de busca (quando uma palavra é pesquisada, um sítio com essa palavra repetida no título, descrição e palavras-chave, obtém maior visibilidade) foram escolhidas as seguintes palavras-chave.

Palavras-chave: *e-astro, ensino, terra, lua, planeta, astro, planetas sistema solar, venus, planetas solar, sistema solar, recursos didacticos, elearning, e learning, planetas, planeta mercurio, planeta terra, a lua, ensino distância, os planetas, astronomia, mercurio, universidade evora, características planetas, universidade évora, astros, vénus, videos sistema solar, mercúrio, planeta marte, recursos educativos, ensino distancia, recursos multimédia, planeta venus, planeta vénus, recursos ensino, astronomia planetas, astronomia marte, ensino astronomia*

De notar que certas palavras sem acentos ou mesmo mal digitadas são por vezes mais pesquisadas do que as mesmas palavras correctamente digitadas, como “recursos didacticos” com 27100 pesquisas em um ano contra as apenas 720 pesquisas para “recursos didácticos” no mesmo período. Ao canalizar o tráfego dos resultados obtidos por este tipo de pesquisas pode ser obtida uma visibilidade e um tráfego adicional que, de outra forma, seriam desaproveitados.

Com base nas palavras-chave escolhidas e tendo em conta todos os pressupostos descritos anteriormente, assim como a restrição de 250 caracteres que muitos motores de busca e directórios impõem aos sítios que indexam, foi elaborada a seguinte descrição.

Descrição: *Recursos didacticos multimédia, videos, imagens, e-learning para o ensino a distância da Astronomia, características dos planetas do sistema solar, planeta mercúrio, vénus, terra, lua, marte e astros, desenvolvido para projecto MASTER e Mestrado Física para Ensino da Universidade de Évora*

Segue-se por fim a tarefa de submeter o endereço do sítio e-Astro para os diferentes motores de pesquisa. Com esse intuito foram criados os ficheiros *sitemap.xml* e *robots.txt*, colocados na raiz do sítio, de forma a acelerar a indexação correcta das páginas e definir quais os motores de busca que podem aceder às hiperligações. Não foram esquecidos indicadores no código HTML da página inicial como a classificação de próprio para menores de idade e de linguagem em português de Portugal, uma vez que permite obter melhores resultados nos motores de busca para pesquisas realizadas especificamente para páginas escritas em Português.

4.6. Submissão do sítio e-Astro para directórios

A maior parte das hiperligações para o sítio e-Astro irão ser adquiridas gradualmente, à medida que os utilizadores descobrirem o seu conteúdo, quer através da pesquisa ou de outras formas (como por indicação de outros sítios ou utilizadores) e criarem hiperligações nos seus sítios para o mesmo. No entanto, promover eficazmente o sítio e-Astro na internet levará a uma descoberta mais rápida do seu conteúdo.

Quando se trata de promover sítios na internet, os directórios de sítios são uma ferramenta importante. Contribuem com hiperligações válidas para os motores de busca e são uma forma de conseguir tráfego, quer pela importância que os motores de busca lhes conferem ou por se estabelecerem como uma autoridade num ou vários nichos.

Os directórios são índices de sítios na internet, habitualmente organizados por categorias e sub-categorias, têm como finalidade principal permitir ao utilizador encontrar os sítios que deseja, pesquisando por categorias, e não por palavras-chave. Geralmente os directórios possuem uma busca interna para que os utilizadores possam encontrar rapidamente um determinado sítio.

Os directórios podem ser de interesse regional, nacional ou global, e até mesmo especializados em determinado assunto. Foram os precursores da pesquisa na internet quando ainda não existiam os motores de busca como o Yahoo, Google ou Altavista.

Submeter um sítio para directórios consome bastante tempo e não é tão simples quanto aparenta. Deve-se ler atentamente as condições de submissão ao directório para perceber que tipo de submissões serão aprovadas. Editar cuidadosamente a descrição do sítio tendo em conta o número máximo de caracteres que cada directório permite.

As submissões automáticas devem ser evitadas, uma vez que o motor de busca Google começou a penalizar no seu *ranking* os directórios que, alegadamente, servem apenas para SEO. A submissão do sítio deve ser manual e efectuada preferencialmente para directórios gratuitos ou para directórios pagos de relevo.

A submissão deve ser efectuada para os directórios onde se encontram sítios semelhantes e na categoria ou categorias que melhor representam o sítio. A cidade ou localidade deve ser indicada, se for relevante. A ausência deste tipo de informação pode desmotivar os utilizadores a clicar e incluir a localização garante uma melhor posição nas pesquisas locais. A sugestão de um sítio na internet será revista por editores e poderá ser aprovada para que conste no directório.

A descrição do sítio na internet e-Astro que aparece nos *Print Screens* seguintes é uma descrição temporária, utilizada para uma submissão prévia para directórios e motores de busca. Espera-se que gradualmente se obtenham melhores resultados de optimização para motores de busca à medida que a nova descrição e novas hiperligações para o sítio e-Astro forem indexadas.

O Dmoz - Open Directory Project, é o mais amplo e abrangente directório da Web editado por pessoas, construído e mantido por uma vasta comunidade global de editores voluntários. O Open Directory Project é a base dos motores de busca mais amplamente usados na Internet, incluindo Netscape Search, AOL Search, Google, Lycos, HotBot, DirectHit, e centenas de outros. (Dmoz About page 2009)

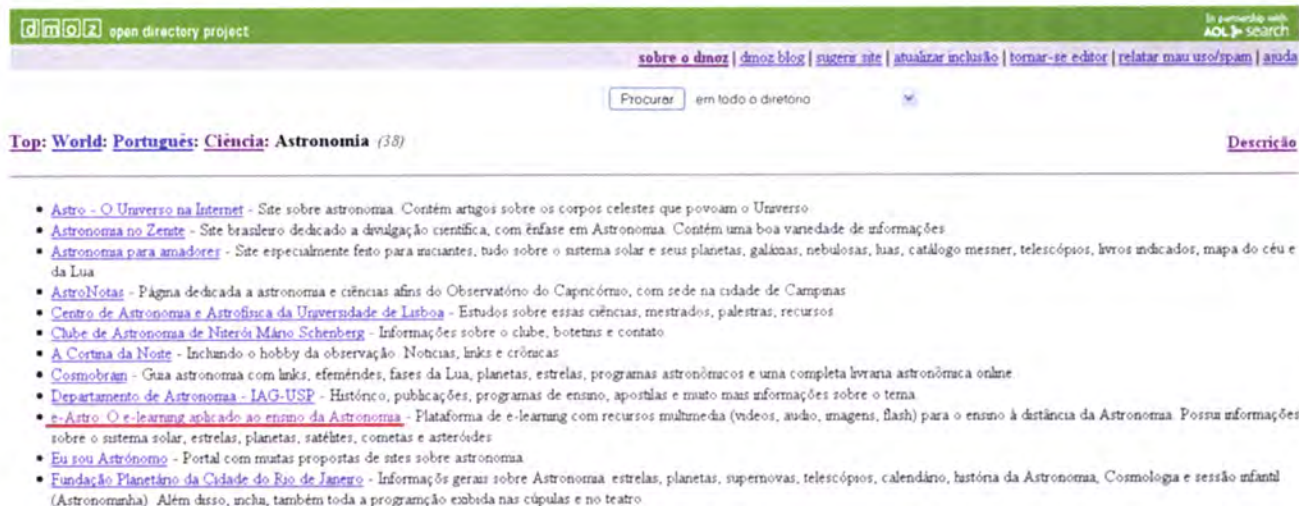


Figura 18 - Submissão para o Dmoz - Open Directory Project

O Google Directory é um serviço da Google que permite fazer pesquisas por temas. A relevância das páginas dentro de cada tema é determinada pelo seu *PageRank*, uma família de algoritmos de análise de rede que atribui pesos numéricos a páginas hiperligadas, com o propósito de medir a sua importância relativa. O *PageRank* de um sítio não é estático, varia ao longo do tempo, podendo subir ou descer, ou mesmo sofrer penalizações definidas pela Google. (Google Directory 2009)



Figura 19 - PageRank do sítio e-Astro no Google Directory

O Directório Nacional do SAPO é uma base de dados de sites portugueses, organizada em categorias principais e em várias subcategorias que se desdobram noutras categorias mais específicas por temas. A inclusão de novos sites na base de dados do Directório Nacional é efectuada pela equipa do SAPO. O SAPO é o melhor local para divulgar um site desconhecido, já que é o portal português mais visitado e que maior visibilidade tem. (Ajuda SAPO 2009)



Figura 20 - Submissão para o Directório SAPO

O MundoPT é o primeiro directório nacional gerido por uma comunidade de editores voluntários que aprovam as submissões de sítios e gerem as suas respectivas categorias. Recentemente foram também criados canais temáticos como forma de oferecer outros serviços aos utilizadores. (Directório MundoPT 2009)

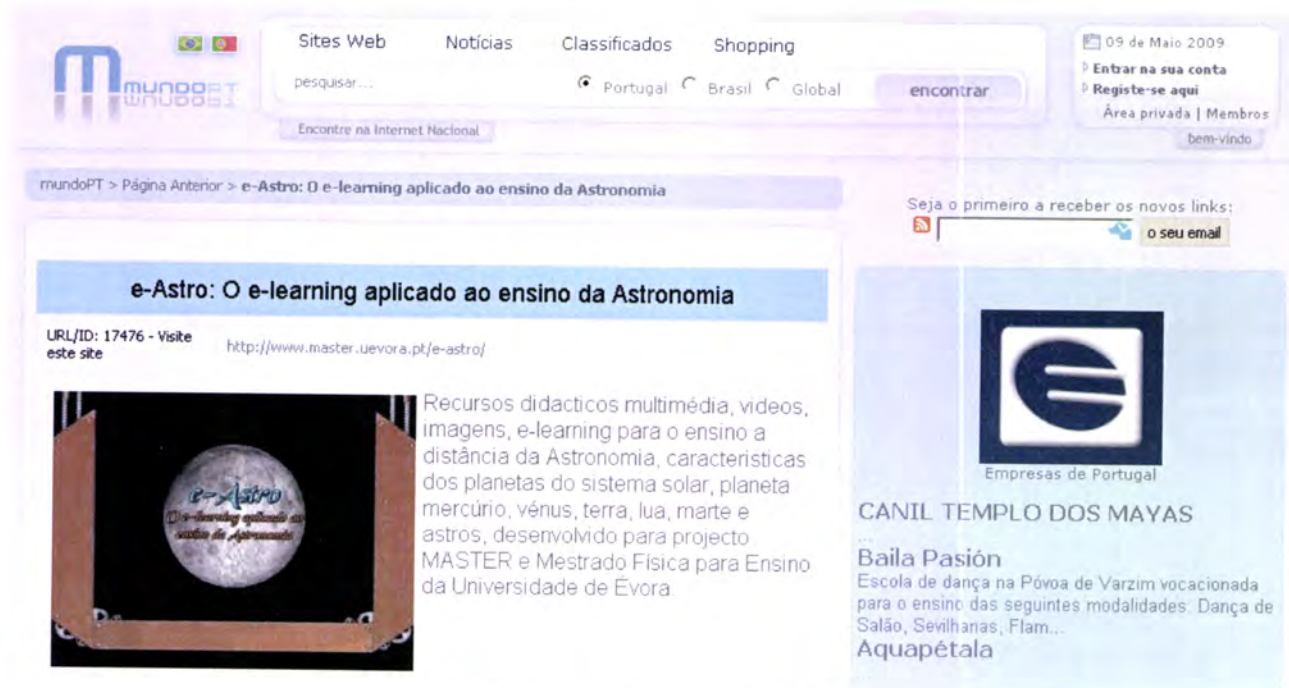


Figura 21 - Submissão para o MundoPT

O AEIOU é um portal e directório português de conteúdos e informação diversa em permanente actualização, e que inclui ainda um motor de busca. (Directório AEIOU 2009)



Figura 22 - Submissão para o AEIOU

O NetINDEX oferece à comunidade portuguesa serviços gratuitos que permitem otimizar o acesso à Internet e à informação nela contida através de um directório organizado de páginas Web nacionais. (NetINDEX O que é 2009)



Figura 23 - Submissão para o NetINDEX

O sítio e-Astro foi submetido para muitos outros directórios portugueses e internacionais, dos quais se destacam: Directório SAPO, Linkador, BuscaPT, BuscaNET, PTmundo, Portugalweb, NovoBr, Curryguide, Lookster, 123Macbook, 21stCentury, entre outros.

4.7. Submissão do sítio e-Astro para motores de busca

Um motor de busca ou motor de pesquisa é um software desenvolvido para encontrar informações armazenadas em sistemas computacionais que permite solicitar conteúdos de acordo com critérios específicos (tipicamente uma palavra ou frase) e que responde com uma lista de referências que obedecem a esses critérios, reduzindo o tempo necessário para encontrar as informações pretendidas.

Ao contrário dos livros de referências, nos quais está acessível informação previamente organizada e registada, o catálogo do motor de busca está em branco, como um livro vazio. Ao realizar-se uma consulta, a lista de ocorrências é criada em poucos segundos pelo motor de busca a partir de índices continuamente actualizados para funcionar de forma rápida e eficiente.

Os motores de busca armazenam informações sobre um grande número de páginas web, que obtêm da internet através de um web crawler ou spider, um web browser automatizado que segue cada uma das hiperligações com que se depara. O conteúdo de cada página é então analisado para determinar como deverá ser indexado. Os dados sobre as páginas são armazenados numa base de dados indexada para utilização em pesquisas futuras.

Alguns sistemas, como o do Google, armazenam parte ou mesmo a totalidade da página (a que se chama cache) assim como informações sobre essa página. A utilidade das páginas em cache revela-se quando o conteúdo da página original foi actualizado e os termos pesquisados deixaram de estar contidos nela, ou quando os sítios na internet mudaram de endereço ou deixaram mesmo de existir.

A utilidade de um motor de busca depende da relevância dos resultados que apresentam. Apesar de poderem existir milhões de páginas que incluem uma palavra ou frase pesquisada, alguns sítios podem ser mais relevantes ou populares do que outros. Os motores de busca utilizam diferentes métodos para criarem um ranking das páginas e apresentarem o resultado mais relevante no topo da lista de resultados. Estes métodos modificaram-se ao longo do tempo com a evolução da Internet e das técnicas de SEO.

Alguns motores de busca extraem dados disponíveis em grupos de notícias, grandes bases de dados ou directórios abertos como o Dmoz - Open Directory Project. Ao contrário dos directórios Web, que são mantidos por editores humanos, os serviços de busca funcionam algoritmicamente. A maioria dos motores de busca é desenvolvida por empresas privadas que utilizam algoritmos proprietários e bases de dados fechadas.

Muitos portais de internet portugueses como o Sapo, AEIOU, Clix e IOL, descontinuaram os seus motores de busca e utilizam actualmente os motores do Live Search e Google. Os motores de busca são imprescindíveis para um sítio na internet obter tráfego e conquistar novos visitantes.

No motor de busca Google, uma pesquisa da palavra-chave “e-astro” devolve uma lista de resultados em que o sítio e-astro aparece em 4 dos primeiros 10 resultados, incluindo as primeiras 3 posições, mostrando uma boa saturação dos resultados do Google. O primeiro resultado é o endereço na internet do sítio e-astro, mostrando uma excelente relevância para a pesquisa.



Figura 24 - Resultados do Google para "e-astro" nas páginas de Portugal

No motor de busca Google, uma pesquisa das palavras-chave “master e-astro” devolve uma lista de resultados em que o sítio e-Astro aparece em todas as posições dos primeiros 10 resultados, mostrando uma excelente saturação dos resultados do Google.

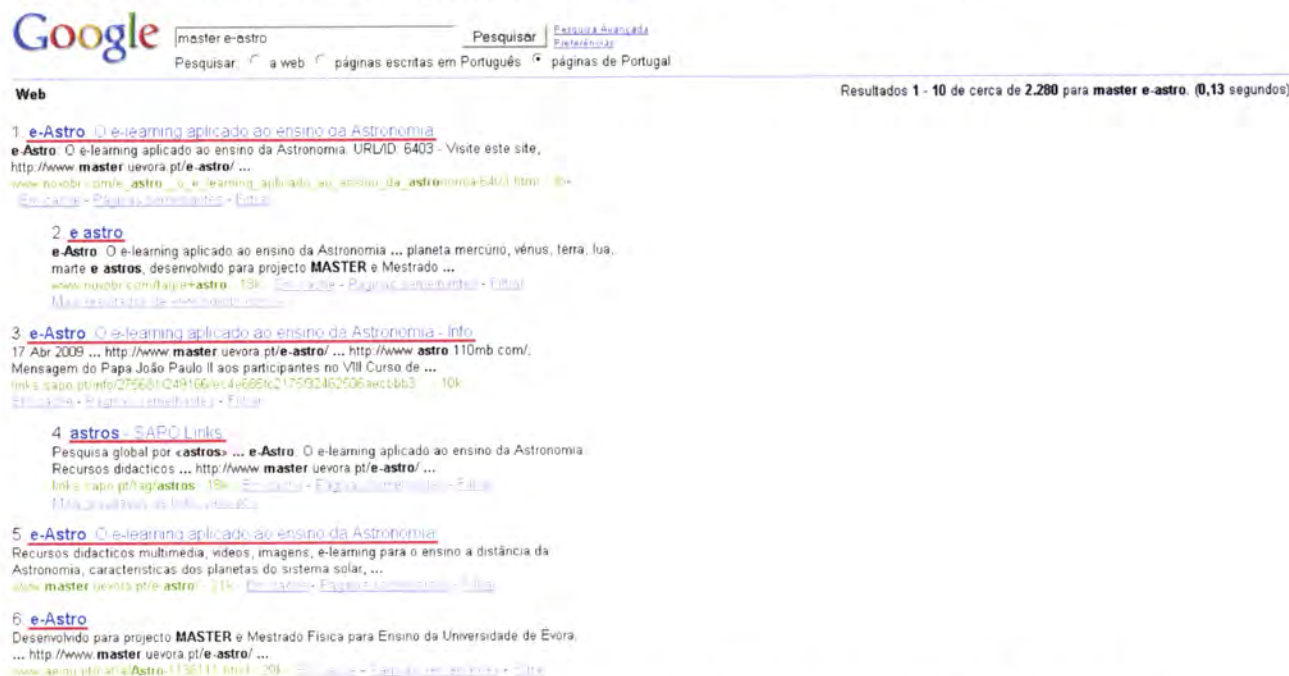


Figura 25 - Resultados do Google para "master e-astro" nas páginas de Portugal

No motor de busca Yahoo, uma pesquisa da palavra-chave “e-astro” devolve uma lista de resultados em que o sítio e-Astro aparece em 7 dos primeiros 10 resultados, incluindo as primeiras 5 posições, mostrando uma boa saturação dos resultados do Yahoo.

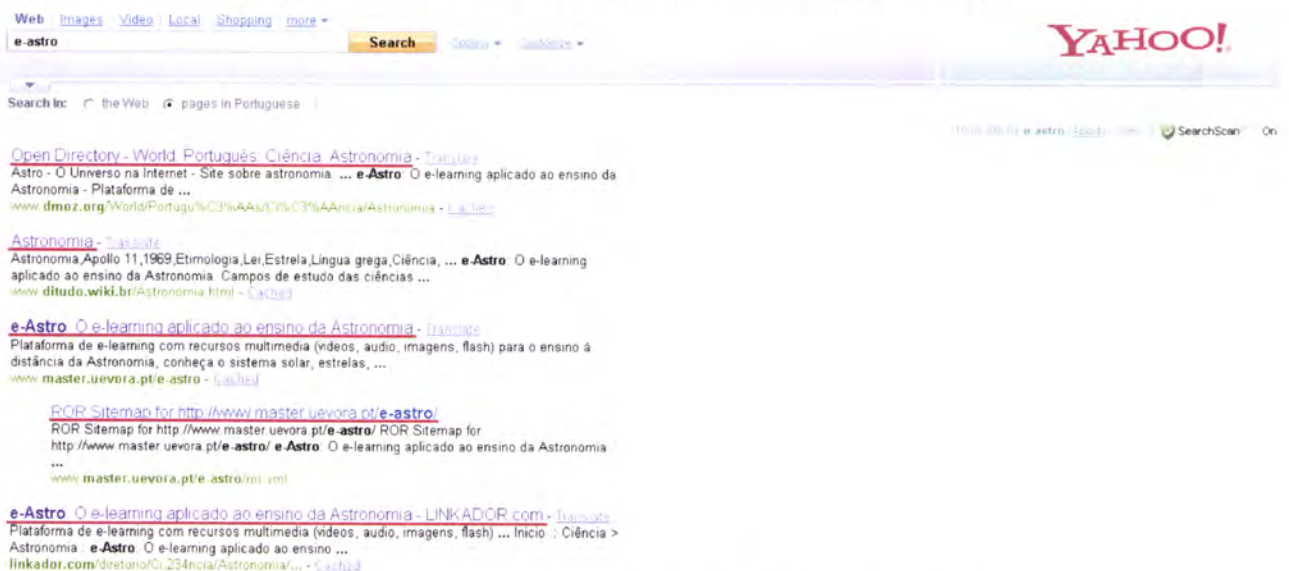


Figura 26 - Resultados do Yahoo para "e-astro" nas páginas em português

No motor de busca Yahoo, uma pesquisa das palavras-chave “master e-astro” devolve uma lista de resultados em que o sítio e-Astro aparece em 9 dos primeiros 10 resultados, incluindo as primeiras 8 posições, mostrando uma excelente saturação dos resultados do Yahoo. O primeiro resultado é o endereço do sítio e-astro, mostrando uma excelente relevância para a pesquisa.

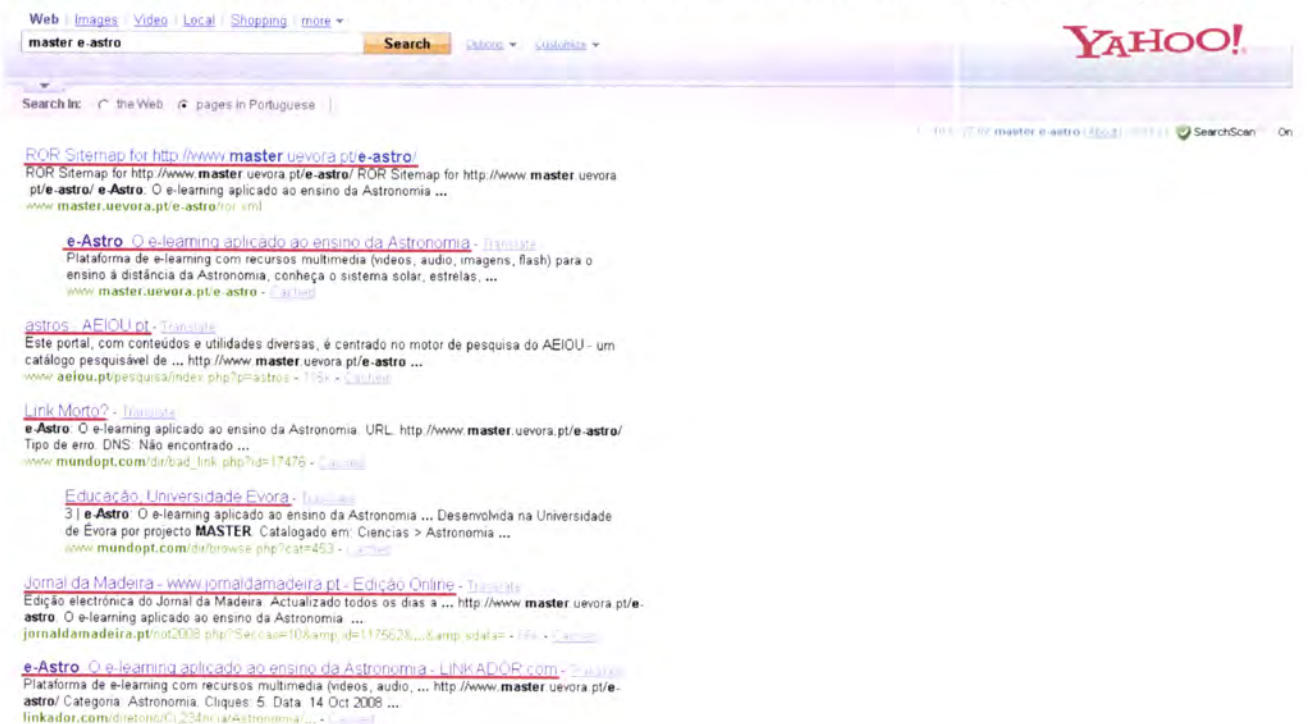


Figura 27 - Resultados do Yahoo para "master e-astro" nas páginas em português

No motor de busca Live Search, uma pesquisa da palavra-chave “e-astro” devolve uma lista de resultados em que o sítio e-Astro aparece em 3 dos primeiros 10 resultados, incluindo a primeira posição, mostrando uma razoável saturação dos resultados do Live Search do MSN. O primeiro resultado é o endereço na internet do sítio e-astro, mostrando uma excelente relevância para a pesquisa.

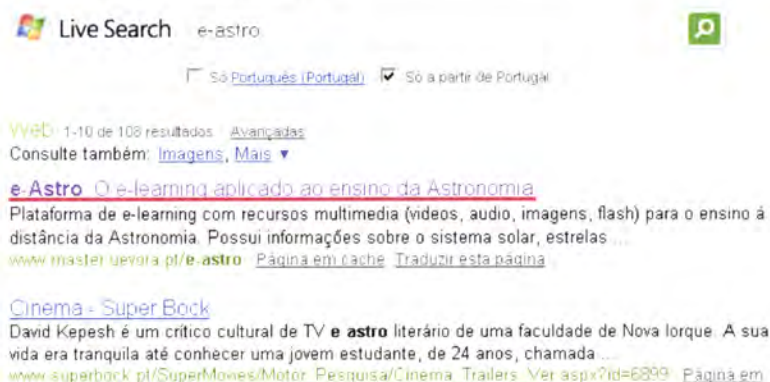


Figura 28 - Resultados do Live Search para "e-astro" nas páginas de Portugal

No motor de busca Live Search, uma pesquisa das palavras-chave “master e-astro” devolve uma lista de resultados em que o sítio e-Astro aparece em 6 dos primeiros 10 resultados, incluindo as primeiras 6 posições, mostrando uma excelente saturação dos resultados do Live Search do MSN. O primeiro resultado é o endereço na internet do sítio e-astro, mostrando uma excelente relevância para a pesquisa.



Figura 29 - Resultados do Live Search para "master e-astro" nas páginas de Portugal

No motor de busca Sapo, uma pesquisa da palavra-chave “e-astro” devolve uma lista de resultados em que o sítio e-Astro aparece em 3 dos primeiros 10 resultados, incluindo a primeira posição, mostrando uma razoável saturação dos resultados do Sapo. O primeiro resultado é o endereço na internet do sítio e-astro, mostrando uma excelente relevância para a pesquisa.

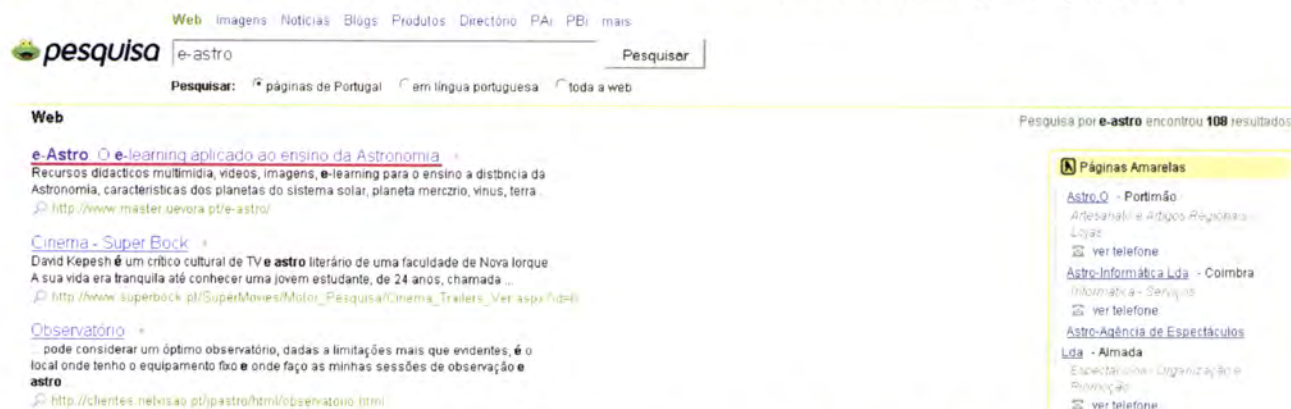


Figura 30 - Resultados do Sapo para "e-astro" nas páginas de Portugal

No motor de busca Sapo, uma pesquisa das palavras-chave “master e-astro” devolve uma lista de resultados em que o sítio e-Astro aparece em 6 dos primeiros 10 resultados, incluindo as primeiras 6 posições, mostrando uma excelente saturação dos resultados do Sapo. O primeiro resultado é o endereço do sítio e-astro, mostrando uma excelente relevância para a pesquisa.

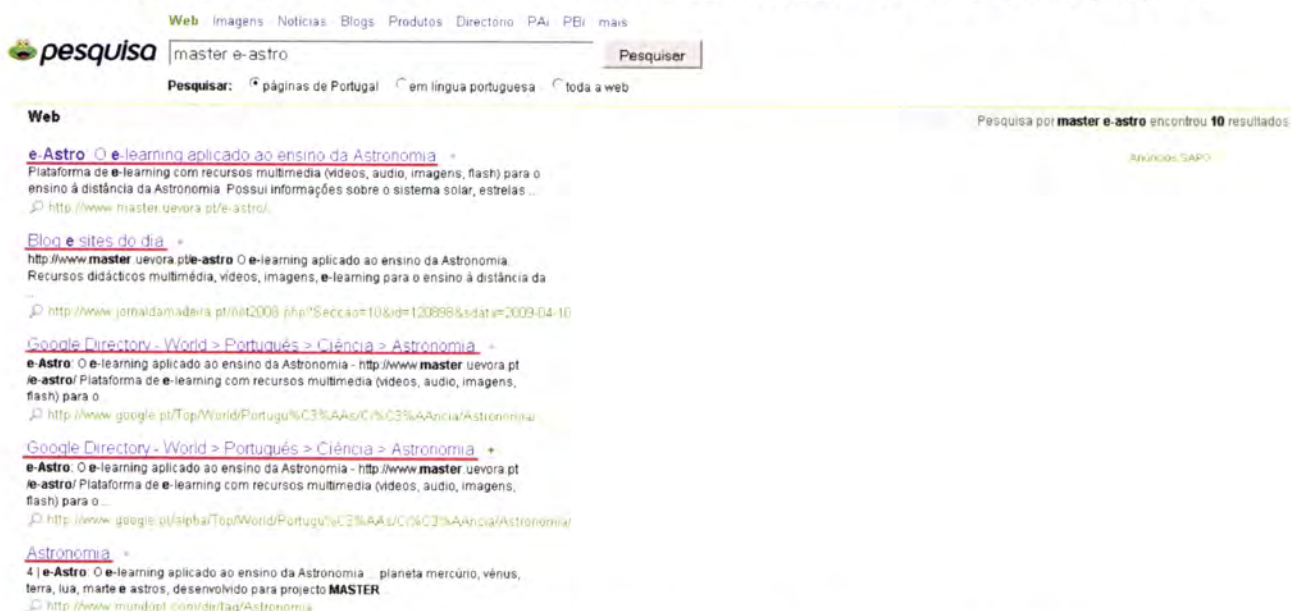


Figura 31 - Resultados do Sapo para "master e-astro" nas páginas de Portugal

O sítio e-Astro aparece nos resultados de muitos outros motores de busca portugueses e internacionais, dos quais se destacam: Altavista, Lycos, Hotbot, AlltheWeb, XL, AEIOU, Clix, IOL, Aranhão, Kartoo, entre outros.

4.8. Hiperligações externas para o sítio e-Astro

Após a aplicação das diferentes técnicas de SEO abordadas anteriormente e a submissão do endereço do sítio e-Astro para vários directórios e motores de busca nacionais e internacionais, é possível começar a observar os resultados à medida que novas hiperligações vão sendo criadas.

Apesar da conquista de hiperligações externas ser um processo muito moroso e gradual, à medida que novos utilizadores descobrirem o sítio e-Astro e considerarem o seu conteúdo relevante, irão espontaneamente criar hiperligações nos seus próprios sítios na internet que apontem para o endereço do sítio e-Astro.

Desta forma, serão conseguidas ainda melhores posições e saturação dos motores de busca que irão gerar um maior volume de tráfego. A atracção de novos utilizadores que poderão por sua vez criar novas hiperligações externas para o sítio e-Astro irá repetir o ciclo, melhorando os resultados nos motores de busca, aumentando a reputação do sítio e o tráfego de utilizadores.



The screenshot displays the e-Astro website interface. At the top, a banner reads "ASTRO - O Universo na Internet". Below this, the website header includes "jm.online" and "Jornal MADEIRA". A navigation menu lists various sections like "Página Principal", "Última Hora", "Seções", etc. A sidebar on the left contains a list of categories such as "ginecologia", "oncologia", etc. The main content area features a section titled "Blog e sites do dia" with a list of recommended websites. These include:

- [Astrofotografia de Manuel Fernandes](#) - Site com belas fotos realizadas por Manuel Fernandes, para além de informações sobre os objectos fotografados.
- [Astronomia no Zênite](#) - Uma forma agradável de saber mais sobre astronomia.
- [CosmoBrain](#) - Site com várias matérias sobre astronomia e que possui um dos melhores fóruns em português, o Cosmofórum.
- [e-Astro](#) - Excelente site tanto a nível de informação como a nível de webdesign. Debruça-se sobre os corpos celestes que fazem parte do Sistema Solar.
- [ESA - Portugal](#) - Informação em português da Agência Espacial Europeia.

At the bottom of the screenshot, there is a section titled "Universo" with a search bar and a list of links for "Início", "Experimentar", "Ideias e Desafios", "Exemplos de Projectos", and "Saber Mais". Below this, a table titled "O Nosso Céu - Saber Mais" lists various astronomical topics and their descriptions.

Saber Mais	Língua
e-Astro	
Contem informação e animações sobre o Sistema Solar.	

Figura 32 - Hiperligações externas criadas por utilizadores do sítio e-Astro



The screenshot shows the Wikipedia page for 'Astronomia'. The page content is in Portuguese. The left sidebar contains navigation and collaboration links. The main content area has a section for 'Ligações externas' (External links) where several links are highlighted in red, including 'Astronomy Picture of the Day', 'Imagem Astronómica do Dia', 'Getting started in astronomy', 'Sociedade Astronómica Brasileira', 'Sociedade Portuguesa de Astronomia', 'História da Astronomia no Brasil', and 'e-Astro: O e-learning aplicado ao ensino da Astronomia'. The 'e-Astro' link is underlined and highlighted in red.

Figura 33 - Sítio e-Astro nas ligações externas da Wikipédia

Apesar do número de hiperligações externas poder momentaneamente aumentar ou diminuir, a sua tendência a longo prazo será para aumentar. Uma pesquisa no motor de busca Google por hiperligações provenientes de outros sítios na internet para o endereço www.master.uevora.pt/e-astro/ revela actualmente 424 resultados.



The screenshot shows a Google search results page. The search bar contains the query 'www.master.uevora.pt/e-astro/'. The search button is labeled 'Pesquisar'. Below the search bar, there are filters for 'Pesquisar', 'a web', 'páginas escritas em Português', and 'páginas de Portugal'. The search results are displayed in a list format. The first result is '1. e-Astro: O e-learning aplicado ao ensino da Astronomia' with a description: 'Recursos didáticos multimídia, vídeos, imagens, e-learning para o ensino a distância da Astronomia, características dos planetas do sistema solar, ...'. The second result is '2. http://www.master.uevora.pt/e-astro' with a description: 'Formato do ficheiro: Shockwave Flash'. The third result is '3. e-Astro: O e-learning aplicado ao ensino da Astronomia - Info' with a description: '17 Abr 2009 ... Ficha técnica. e-Astro: O e-learning aplicado ao ensino da Astronomia'. The fourth result is '4. NetINDEX - uevora' with a description: 'Conheça o sistema solar, estrelas, planetas, satélites, cometas e asteroides. http://www.master.uevora.pt/e-astro/ Secção: (Início Laser Astronomia) ...'.

Figura 34 - Pesquisa no Google por hiperligações para o sítio e-Astro

No entanto, nem todas as hiperligações externas existentes em sítios na internet aparecem na pesquisa do motor de busca Google que devolve apenas as hiperligações mais relevantes. Além disso, a quantidade imensa de páginas web que existem impede que o web crawler do Google rastreie com muita frequência os sítios na internet, podendo as novas hiperligações externas só aparecerem na pesquisa do Google ao fim de algumas semanas ou mesmo um mês.

5. Considerações finais

O trabalho de investigação realizado na presente dissertação foi iniciado com a contextualização dos problemas associados ao crescente desinteresse e falta de motivação para aprender ciências e da necessidade de promover a literacia científica nos alunos. Em seguida, foi feita a escolha do tema científico a ser abordado, preferencialmente pelo qual os alunos revelassem interesse e que permitisse mostrar a estreita ligação entre Física, Sociedade e Tecnologia. O tema que melhor preencheu estes requisitos foi a Astronomia.

Escolhido o tema a abordar, foi feito um estudo das tendências curriculares no ensino das Ciências e, em particular da disciplina de Física, que teve como objectivo determinar quais os principais paradigmas utilizados nas últimas décadas. A partir deste estudo, foram isoladas as novas tendências no ensino da Física, o que permitiu, por sua vez, definir quais as melhores abordagens a utilizar no ensino da Física para as aplicar ao ensino da Astronomia.

A fase seguinte de investigação foi iniciada com uma análise de diferentes tipos de ensino para se averiguar qual a modalidade que melhor se enquadrava nos objectivos da dissertação. Escolhido o modelo de e-learning, tentou-se perceber no que consiste, por meio de um estudo do conceito e da sua origem. Foi problematizada a utilização de sistemas multimédia e as dificuldades inerentes à incorporação de áudio, vídeo e animação nos sistemas informáticos de e-learning.

Para se tirar partido de todas as potencialidades que este modelo de ensino encerra foi estudado o modelo conceptual e as dimensões de um ambiente e-learning, assim como a importância da formação de comunidades de aprendizagem para o sucesso de um curso online. Foram também identificadas as vantagens e desvantagens da utilização do e-learning para o aluno, para o professor e para a instituição de ensino ou formação. Por fim, foi ponderada a relevância actual e futura do e-learning no processo de ensino-aprendizagem.

Durante a fase seguinte de investigação da dissertação foi realizado um estudo de boas práticas em e-learning, particularmente no que diz respeito a aspectos da qualidade técnica e funcional. Começou-se por definir regras, princípios, orientações e recomendações que permitem a criação de boas interfaces. Foram também estudados aspectos relativos à ergonomia das interfaces e à atenção e percepção dos utilizadores, tendo em conta a capacidade limitada de recepção e de tratamento da informação do ser humano.

Ponderaram-se aspectos técnicos como a independência da aplicação de e-learning em relação a diferentes plataformas (*Windows*, *Linux* e *Macintosh*) e a adaptabilidade à resolução de ecrã, uma vez que actualmente é impossível prever a resolução do ecrã de computador onde será visualizada a aplicação.

Em seguida, foram analisados aspectos como o tempo de carregamento de ficheiros mínimo, evitar a utilização de quadros, escrever para o ecrã, legibilidade, inteligibilidade e utilização de cores. Também foram considerados aspectos técnicos relativos à utilização de gráficos, gráficos 3D, animações, áudio e vídeo. Finalizando o estudo, foram abordados aspectos de navegação e utilização de metáforas em interfaces e, por fim, delineadas orientações gerais para a produção e concepção de e-conteúdos.

Concluída a investigação da componente de e-learning da dissertação, iniciou-se o prolongado processo de concepção e desenvolvimento da aplicação e-Astro e dos respectivos recursos multimédia interactivos. Tendo como objectivo o desenvolvimento de um produto de qualidade foram aplicadas as boas práticas em e-learning abordadas anteriormente, esforçando-se sempre por manter um rigor científico, didáctico, técnico, funcional e estético.

Para o processo de concepção e desenvolvimento da aplicação e-Astro e dos respectivos recursos multimédia interactivos, foi necessário adquirir conhecimentos avançados na utilização de softwares tão variados como *Dreamweaver CS3*, *Flash CS3 Professional*, *Fireworks CS3*, *Photoshop CS3*, *3DS Max 9*, *Swift 3D 4.5*, *Flash CS3 Video Encoder* e de linguagens como o HTML, JavaScript, Actionscript e PHP. O moroso processo de aquisição de competências em ferramentas e linguagens tão díspares foi possível através da frequência de vários cursos de formação profissional e de muita dedicação pessoal.

O desenvolvimento da aplicação foi efectuado tendo em conta as Recomendações do World Wide Web Consortium (W3C) para HTML e CSS. Em seguida, procedeu-se ao processo de validação da qualidade e usabilidade da aplicação e-Astro, ao que se seguiu a optimização do website para motores de busca (SEO - Search Engine Optimization) que constitui um conjunto de estratégias que tem como objectivo melhorar a posição de um sítio na internet nas páginas de resultados orgânicos dos motores de busca como o Google.

Procedeu-se, em seguida, à submissão do sítio e-Astro para directórios e motores de busca. As estratégias de SEO utilizadas permitiram melhorar o número de visitas e a reputação do sítio e-Astro na internet. Apesar da aplicação e-Astro não estar concluída, gerou bastante interesse na internet, tendo sido referida em artigos de jornais online e sites de Astronomia. Aquando da conclusão da presente dissertação contavam-se cerca de 574 hiperligações externas para o sítio na internet e-Astro.

A par da concepção e desenvolvimento da aplicação de e-learning e-Astro pretendeu-se criar conteúdos e recursos multimédia interactivos de Astronomia. O objectivo inicial consistia num estudo de todos os astros do sistema solar. No entanto, a profundidade com que os planetas telúricos foram abordados acabou por atrasar a calendarização da dissertação. Desta forma, optou-se por excluir da presente dissertação o estudo do Sol e dos restantes corpos do sistema solar, com o objectivo de serem abordados convenientemente em um projecto futuro.

O estudo de cada um dos planetas telúrios, Mercúrio, Vénus, Terra e Marte foi iniciado com uma introdução, seguido de um estudo da atmosfera, superfície, interior, observação, missões, história e dados físicos do planeta. Na introdução de cada planeta são abordadas características gerais como a sua formação e evolução, a temperatura diurna e nocturna médias, a sua órbita, o seu período sideral e de rotação, a inclinação do seu eixo, e alguns aspectos peculiares do planeta.

No estudo da atmosfera de cada planeta são abordados assuntos como a sua formação e evolução, a estrutura e composição, a existência e evolução do efeito de estufa. No estudo da superfície de cada planeta são abordados temas como a formação de diversos tipos de relevos, a topografia planetária, a erosão, a tectónica de placas, a actividade vulcânica, a existência de depósitos de gelos. No estudo do interior de cada planeta são abordados temas como a estrutura e composição interna, a actividade sísmica, a existência e evolução do campo magnético global, a interacção da magnetosfera com o vento solar.

No estudo da observação de cada planeta são abordados assuntos como as melhores oportunidades e condições de observação, a utilização de binóculos e telescópios, as amplificações e filtros, a observação de fases, os trânsitos e eclipses. No estudo das missões a cada planeta são abordados assuntos como a exploração planetária, a tecnologia e instrumentos, a recolha de dados e imagens, as descobertas científicas efectuadas, os programas de exploração espacial. No estudo da história de cada planeta são abordados temas como a mitologia, a história da observação, astrónomos famosos, a evolução das ideias, o processo de investigação e descoberta em astronomia. Nos dados físicos de cada planeta são tabeladas as suas principais características físicas.

A inclusão dos textos elaborados sobre os planetas telúricos na aplicação e-Astro foi atrasada devido aos imperativos da vida profissional. Após a inclusão de todos os textos na plataforma serão finalizados os respectivos recursos multimédia interactivos e o sítio e-Astro poderá finalmente ser sugerido para inclusão em websites e directórios de Astronomia e de Física.

Através da internet, foi possível alcançar um grande número de utilizadores interessados em Astronomia. No entanto, com a publicitação da aplicação e-Astro em escolas secundárias, sob a forma da distribuição de panfletos ou mesmo de CD's com a aplicação, seria possível alcançar um público muito mais vasto.

A distribuição de CD's da aplicação e-Astro permitiria estimular o gosto dos alunos e obter taxas de sucesso mais elevadas na aprendizagem da Astronomia, com a sua utilização generalizada em contexto de escola. Durante a elaboração da aplicação e-Astro o autor leccionou disciplinas que não enquadravam a Astronomia nos conteúdos programáticos, não tendo por essa razão sido possível testar a aplicação em situação de sala de aula.

Para além da distribuição de CD's da aplicação e-Astro, a elaboração de um curso online de Astronomia permitiria superar a escassez de oferta formativa dos Centros de Formação nesta área e colmatar a escassa formação dos professores de Ciências no domínio da Astronomia. A frequência de um curso online de Astronomia iria sensibilizar estes professores relativamente à utilização de novas tecnologias na sua vertente técnica e pedagógica, minimizando a sua resistência à mudança e à falta de preparação pedagógica para este tipo de ensino.

O trabalho realizado até ao momento levantou algumas possibilidades no que respeita a futuros projectos, que possibilitem continuar a investigação efectuada no âmbito desta dissertação e do projecto MASTER:

- i) Desenvolver conteúdos relativos aos restantes corpos do sistema solar;
- ii) Desenvolver conteúdos relativos a corpos extra-solares;
- iii) Produzir uma versão em CD-ROM da aplicação e-Astro para distribuição;
- iv) Desenvolver um curso de formação e-learning em Astronomia;
- v) Acrescentar novas funcionalidades ao sítio e-Astro como uma plataforma moodle, fórum, chat, galeria de imagem e vídeo.

A presente dissertação contribuiu para o desenvolvimento pessoal e profissional do autor, na medida em que se iniciou no trabalho de investigação e desenvolveu novos conhecimentos e competências no âmbito das T.I.C. e da Astronomia. Os conhecimentos e competências adquiridas permitiram uma melhoria das práticas docentes e, conseqüentemente, a promoção das aprendizagens de futuros alunos.

Anexo 1. Mercúrio

1.1. Introdução

O mais pequeno planeta do sistema solar é também o que se encontra mais perto do Sol, apresentando maior amplitude térmica à superfície do que qualquer outro planeta ou satélite. Mercúrio encontra-se a uma distância média de apenas 58 milhões de quilómetros do Sol, o que implica que este planeta possua o menor período orbital do sistema solar e viaje mais rapidamente à volta do Sol do que qualquer outro objecto do Sistema Solar. A sua órbita é a mais excêntrica e inclinada dos planetas do Sistema Solar à excepção de Plutão. Mercúrio não possui anéis ou luas conhecidos.

A distância entre Mercúrio e o Sol varia entre 70 milhões de quilómetros no afélio e apenas 46 milhões de quilómetros no periélio. Visto da Terra, o ângulo entre Mercúrio e o Sol nas suas elongações máximas Este e Oeste varia entre 28° (quando está próximo do afélio) e apenas 18° (quando está próximo do periélio). (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

O período sideral de Mercúrio, tempo que o planeta demora a completar uma órbita em volta do Sol, é de apenas 88 dias. O período de rotação, tempo de dar uma volta sobre si mesmo, corresponde a cerca de 59 dias terrestres. Ou seja, gira uma volta e meia em torno do seu eixo no decurso de um ano mercuriano.

Mercúrio, assim como a maioria dos planetas do Sistema Solar, roda no sentido directo para um observador colocado no pólo norte. O período sinódico, tempo que o planeta demora para visto da Terra completar um ciclo de fases, é de 116 dias ou cerca de $1/3$ de ano terrestres.

Devido à sua peculiar rotação e órbita, Mercúrio possui uma ressonância única de 3:2 entre os seus períodos rotacional e sideral. Este facto ajuda a explicar a tremenda diferença entre as suas temperaturas diurna e nocturna. O planeta roda 3 vezes sobre o seu eixo a cada 2 órbitas à volta do Sol. Esta ressonância foi provavelmente consequência de efeitos gravitacionais de maré.

A inclinação do plano do equador mercuriano relativamente ao plano da sua órbita é apenas de $0,5^\circ$, o que implica que não possui “estações”. Por conseguinte, as regiões polares nunca recebem directamente os raios solares, conservando-se geladas em comparação com as escaldantes regiões equatoriais iluminadas pelo sol. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Para além de Mercúrio receber luz solar cerca de 6 a 7 vezes mais intensa do que a Terra (devido à sua proximidade ao Sol), a luz solar aquece ininterruptamente a superfície mercuriana durante quase 3 meses terrestres. A temperatura diurna média de 350°C que se faz sentir à superfície seria suficientemente alta para derreter o chumbo.

O tempo médio que decorre entre o pôr-do-sol e o nascer do Sol seguinte é de quase 90 dias, tendo a superfície da agora face noturna 3 meses de escuridão para arrefecer. A temperatura noturna média é de -170°C , o que seria suficiente para congelar dióxido de carbono ou metano.

Enquanto o Sol se move lentamente no céu mercuriano, nem sempre se move de Este para Oeste como acontece na Terra. Tal se deve ao facto de a velocidade de Mercúrio ao longo da sua órbita elíptica variar substancialmente, de acordo com a 2.^a Lei de Kepler. O planeta move-se mais rapidamente no periélio, a 59 km/s , e mais lentamente no afélio, a 39 km/s .

Visto da superfície de Mercúrio, o Sol nasce a Este e põe-se a Oeste, como acontece na Terra. Mas quando Mercúrio se encontra perto do periélio, o movimento rápido na sua órbita ultrapassa a lenta rotação sobre o seu eixo. Assim, o movimento de Este para Oeste do Sol no céu mercuriano é interrompido, o Sol pára e começa a movimentar-se no sentido contrário durante alguns dias terrestres. O pôr-do-sol durante o periélio seria bastante diferente do terrestre: o Sol iria mergulhar no horizonte a Oeste para depois subir novamente, voltando a pôr-se uma segunda vez, um ou dois dias depois. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Mercúrio não possui oceanos, mas possui uma protuberância natural devido a efeitos de maré da atracção gravítica do Sol, sendo levemente alongado segundo um dos seus eixos. A força gravitacional que o Sol exerce no lado mais próximo do planeta tende a atrair o eixo mais longo na sua direcção. Mas graças à elevada excentricidade da sua órbita, a atracção diminui rapidamente à medida que o planeta se afasta do Sol. Assim, o eixo mais longo de Mercúrio aponta para o Sol apenas no periélio. De um periélio para o seguinte, lados alternados do planeta são voltados para o Sol.

Apesar do seu pequeno tamanho, Mercúrio é um planeta muito importante para os astrónomos. Se pudermos entender como este planeta se formou e adquiriu as suas características actuais, podemos entender melhor como se formaram outros planetas rochosos, como por exemplo a Terra. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

1.2. Atmosfera de Mercúrio

Este planeta rochoso, devido à sua reduzida massa e proximidade do Sol, perdeu no início da sua formação os constituintes libertados do solo que poderiam ter originado uma atmosfera. Sem o efeito de estufa oferecido por uma atmosfera, em Mercúrio fazem-se sentir temperaturas muito elevadas durante o dia e muito reduzidas durante a noite. Sem atmosfera, a presença de água no estado líquido é impossível. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

No entanto, observações recentes feitas a partir da Terra permitiram descobrir que Mercúrio possui uma atmosfera extremamente ténue, com uma pressão à superfície um trilião de vezes menor que a da Terra. A exosfera mercuriana é tão rarefeita que os átomos que a constituem raramente colidem. O espectrómetro ultravioleta da *Mariner 10* identificou hidrogénio, hélio, oxigénio, e árgon na exosfera de Mercúrio.

O hidrogénio e o hélio provavelmente provêm principalmente do vento solar, apesar de uma parte do hélio ser de origem de radiogénica e algum hidrogénio poder resultar da fotodissociação de H_2O . A interacção de partículas de alta energia com materiais da superfície pode libertar oxigénio suficiente para ser a sua fonte principal, mas a dissociação de moléculas de vapor de água pela luz solar também pode ser uma fonte possível. Entre 1985 e 1986, observações telescópicas terrestres descobriram sódio e potássio na exosfera mercuriana.

Tanto o sódio e o potássio possuem abundâncias altamente variáveis (10^4 a 10^5 átomos de Na cm^{-3} e 100 a 10^4 átomos de K cm^{-3}) próximo da superfície, em escalas temporais de horas a anos. As suas abundâncias também variam entre o dia e a noite, sendo até 5 vezes mais abundantes na face diurna.

Embora o sódio e o potássio provenham provavelmente da superfície de Mercúrio, o mecanismo pelo qual passam para a atmosfera ainda não foi completamente entendido. Talvez sejam libertados por minerais com sódio e potássio, pela interacção destes com a radiação solar ou pela vaporização por impacto de material micrometeorítico. O sódio e o potássio variam a sua distribuição global diariamente. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

1.3. Superfície de Mercúrio

Quando as primeiras imagens enviadas pela *Mariner 10* chegaram à Terra, os cientistas ficaram perplexos com a semelhança entre a superfície de Mercúrio e a da Lua. Devido à não existência de uma atmosfera em Mercúrio, que faria diminuir o número e violência dos impactos de meteoritos por atrito, a sua superfície encontra-se repleta de crateras. O tamanho dessas crateras, varia do mínimo detectável de 1 km, ao gigantesco *Olho-de-boi* na bacia *Caloris* de 1340 km de diâmetro. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Assim como a Lua, Mercúrio é um mundo estéril, crivado de crateras, e sem evidência de tectónica de placas (o que seria de esperar do reduzido tamanho do planeta). Um mundo pequeno é esperado que possua pouco calor interno e, assim, pouca ou nenhuma actividade geológica e uma superfície antiga e repleta de crateras.

Mas a superfície de Mercúrio não apresenta apenas crateras, também existem planícies, regiões desordenadas e montanhosas, escarpas serpenteantes e vales cheios de lava. A superfície do planeta também apresenta enrugamentos invulgares, muito diferentes de alguma característica encontrada na Lua ou na Terra. Mercúrio encontra-se coberto por regolito, material fragmentado proveniente do impacto de meteoritos durante milhares de milhões de anos. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Muitas crateras em Mercúrio receberam o nome de figuras importantes das artes, como por exemplo Degas, Beethoven, Chekhov, Okyo (pintor japonês), e Vyasa (poeta indiano). Algumas planícies receberam o nome Mercúrio em diferentes línguas, por exemplo Budh Planitia (Hindu) e Tir Planitia (Norueguês).

Os nomes de algumas escarpas provêm de navios famosos, por exemplo Discovery Rupes, do navio de James Cook na sua última viagem no Pacífico. Radiotelescópios com os quais importantes descobertas sobre o planeta foram feitas deram o nome a alguns vales, como por exemplo o Arecibo Vallis. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Uma vez que não existe atmosfera, também não existe erosão atmosférica, o que implica que as marcas deixadas pelos embates irão existir durante milhões de anos. A única degradação que podem sofrer é a eventualidade de outro meteorito cair no mesmo local, a fragmentação do solo devido à elevada variação de temperatura e o efeito do vento solar. Na sua superfície faz-se sentir a maior amplitude térmica de todos os planetas, chegando a temperatura a atingir os 480°C durante o dia e os -180°C durante a noite.

Desta fragmentação do solo resulta o facto da superfície de Mercúrio apresentar o menor valor albedo dos planetas do Sistema Solar, o que significa que é pouco reflector da radiação solar. Com um valor de albedo de 0,12, o solo de Mercúrio absorve 88% da radiação solar total que recebe e reenvia apenas 12% para o espaço. A forma como o planeta reflecte luz é muito semelhante à forma como a luz é reflectida pela Lua. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

O consenso entre astrónomos é de que as crateras tanto em Mercúrio como na Lua, foram produzidas durante os primeiros 700 milhões de anos após a formação dos planetas. Destroços excedentes da formação dos planetas choveram nestes jovens mundos, cavando a maioria das crateras actuais. As maiores evidências para esta cronologia provêm da análise e datação de rochas lunares, mas como a *Mariner 10* não pousou em Mercúrio não foi possível realizar o mesmo tipo de análise directa nas rochas mercurianas.

De forma geral, a velocidade relativa com que um meteorito colide com um corpo planetário depende fortemente da sua velocidade orbital, tendo os cometas de período longo a maior velocidade de impacto. Para o sistema Terra-Lua, com a sua velocidade orbital de 29,8 km/s, a velocidade típica de impacto é de 20 km/s. Para Mercúrio, com uma velocidade orbital que atinge os 50 km/s, a velocidade de impacto é provavelmente de 30 km/s. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Sem a presença de atrito para os desacelerar, os meteoritos colidem com elevada velocidade na superfície do planeta, provocando no local do embate a fusão do material meteórico e do solo. O mesmo ocorre no nosso satélite, tornando o aspecto da superfície de Mercúrio e da Lua muito semelhante. No entanto, até as regiões de Mercúrio com mais crateras, possuem menos crateras do que as zonas altas meridionais da Lua, o que indica que a superfície de Mercúrio é mais recente, uma vez que superfícies mais antigas possuem mais crateras. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Em imagens da Lua vemos que as crateras lunares se encontram muito juntas, sobrepondo-se umas às outras. Em Mercúrio, por outro lado, existem extensas áreas de baixas planícies. Estas grandes áreas lisas são cerca de 2 km mais baixas do que as áreas com crateras. Os mares lunares foram produzidos por extensas escoadas de lava entre 3,1 e 3,8 mil milhões de anos atrás. As planícies de Mercúrio foram provavelmente formadas por escoadas de lava primordiais. À medida que grandes meteoritos perfuravam a fina e recém-formada crosta, era expelida lava do interior fundido do planeta, inundando as áreas mais baixas da superfície. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Pelo número de crateras presentes nas planícies de Mercúrio, estas aparentam ter sido formadas perto do final da era dos grandes impactos, pouco mais de 3,8 mil milhões de anos atrás. As planícies de Mercúrio são por conseguinte mais antigas do que os mares lunares.

Análises das imagens recolhidas pela *Mariner 10* realizadas a diferentes comprimentos de onda mostraram que as escoadas de lava das planícies mercurianas possuem menos ferro do que as dos mares lunares. Provavelmente, essa é a razão para as superfícies de lava presentes na superfície de Mercúrio não possuírem a cor escura característica dos mares lunares. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A sonda espacial *Mariner 10* também revelou numerosas falhas, chamadas escarpas, serpenteando pela superfície de Mercúrio. Algumas escarpas erguem-se até 3 km acima das planícies envolventes e possuem 20 a 500 km de comprimento. A sua distribuição global evidencia que estas falhas formaram-se cedo na história de Mercúrio, quando o manto e o núcleo arrefeceram e contraíram, gerando forças compressivas na superfície.

Uma das falhas mais longas é a *Discovery Rupes* (da palavra latina *Rupes* para escarpa) que atravessa crateras, o que indica que a contracção global terá ocorrido após a era dos grandes impactos. Se a cratera se tivesse formado após a formação da falha, teria apagado a porção da falha que atravessa a área de impacto. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Se ainda existisse material fundido sob a superfície de Mercúrio aquando da contracção, teria escapado lava para a superfície envolvente das falhas, o que não parece ter ocorrido. Assim as escarpas devem ter sido formadas relativamente tarde na história de Mercúrio, após as escoadas de lava terem parado e o planeta ter solidificado até uma profundidade substancial abaixo da superfície.

Com a excepção das escarpas, não existem características em Mercúrio que se assemelhem a fronteiras de placas tectónicas. Podemos então considerar a crosta de Mercúrio, assim como a da Lua, como uma única placa.

A característica mais importante descoberta pela *Mariner 10* foi uma enorme bacia de impacto vulgarmente chamada bacia *Caloris* (da palavra Latina calor), mas cujo nome oficial é *Caloris Planitia* (planície do calor). O Sol encontra-se directamente acima da bacia *Caloris* durante passagens alternadas pelo periélio, tornando este local o mais quente do planeta a cada 176 dias. Durante as aproximações da *Mariner 10*, a bacia *Caloris* estava no terminador (a linha que divide o dia da noite), ocultando assim, mais de metade da bacia na escuridão da face noturna.

A bacia *Caloris*, encontra-se nas coordenadas geográficas 30,5° N e 170,2° E, e de acordo com a metade que foi observada estima-se que possua cerca de 1340 km de diâmetro. Encontra-se preenchida e rodeada por lisas planícies de lava. O anel exterior é marcado pelos *Montes Caloris*, uma formação de 100 a 150 km de largura que consiste em várias unidades de 1 a 2 km de altura e até 50 km de comprimento. Dentro deste anel, o chão da bacia encontra-se coberto de cumes enrugados e de fracturas, encontrando-se dispostos aproximadamente segundo arcos concêntricos.

Esta bacia foi provavelmente produzida pelo impacto de um objecto com cerca de 150 km que penetrou a crosta do planeta, permitindo a lava escoar para a superfície e preencher a bacia. Devido ao facto de poucas crateras marcarem estas escoadas de lava, o impacto em *Caloris* deve ter ocorrido há cerca de 3,85 mil milhões de anos atrás, no final do período de formação de crateras que dominou os primeiros 700 milhões de anos da história do Sistema Solar. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Algumas características comprovam a formação do vale como resultado de um enorme impacto. O anel montanhoso encontra-se pontilhado por pequenas planícies e crateras secundárias formadas pela queda de material fundido e ejectado durante o impacto. A nordeste do vale encontra-se a formação Van Eyck, estendendo-se por 1000 km e que, pela sua posição radial relativamente à bacia de Caloris, se pensa ter sido formada pelo material ejectado. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

O impacto que criou a enorme bacia *Caloris* deve ter sido tão violento que abalou todo o planeta. Na face de Mercúrio, oposta à bacia *Caloris*, a *Mariner 10* descobriu as consequências do impacto. Trata-se de uma região desordenada, fracturada e montanhosa com cerca de 500 000 km², consistindo de montes até 2 km de altura e 10 km de comprimento, e depressões que atravessam características mais antigas.

Pensa-se que o impacto enviou ondas sísmicas de superfície e ondas de compressão através do manto e núcleo, que convergiram ao atravessarem o interior do planeta. Esta energia sísmica concentrada ao chegar à superfície, deformou a crosta, criando o relevo que podemos ver na imagem. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Características semelhantes às da bacia *Caloris* podem ser encontradas na nossa Lua, sendo o melhor exemplo o *Mare Orientale*. Assim como o impacto que criou a bacia *Caloris*, o impacto que formou o *Mare Orientale* fracturou a crosta, produzindo anéis envolventes de montanhas. A teoria acerca da formação de origem sísmica de montes desordenados em Mercúrio é suportada pela presença de semelhantes, mas menos extensas, regiões montanhosas desordenadas na face da Lua oposta ao *Mare Orientale*. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Nas décadas após a missão *Mariner 10*, astrónomos continuaram a estudar Mercúrio com telescópios de luz visível e de rádio. Até que ondas de radar detectaram, em 1992, zonas perto dos pólos Norte e Sul que eram particularmente reflectoras. Pensa-se que estas zonas podem ser crateras que possuem gelo subterrâneo e que os raios solares não conseguem atingir, mantendo a temperatura abaixo do ponto de fusão do gelo.

Devido à obliquidade de Mercúrio ser praticamente 0° , o planeta não possui estações o que mantém as regiões polares a temperaturas inferiores a -138°C . Em áreas polares permanentemente obscurecidas as temperaturas devem ser menores que -161°C , e o gelo deve evaporar numa escala temporal de milhares de milhões de anos. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A existência de gelo subterrâneo pode dever-se ao impacto de cometas ricos em gelo. Como a Lua também recebe o impacto de cometas e asteróides seria de esperar que depósitos semelhantes ocorressem em regiões permanentemente obscurecidas de crateras lunares. Em 1994, a sonda espacial *Clementine*, enviou sinais de rádio para crateras escurecidas perto do pólo Sul da Lua e os sinais reflectidos, recebidos por antenas na Terra, indicavam a existência de gelo.

No entanto, os dados não foram conclusivos e quando astrónomos tentaram encontrar gelo nas mesmas crateras, utilizando o enorme radiotelescópio do Arecibo Observatory em Porto Rico, não o conseguiram encontrar. Em 1998, a NASA enviou outra sonda, a *Lunar Prospector*, para averiguar a existência de gelo nessas regiões lunares utilizando um espectrómetro de neutrões. Com esse instrumento a sonda procurou na superfície lunar por minerais ricos em hidrogénio. Mais uma vez as crateras polares da Lua devolveram um sinal intrigante, indicando a presença de hidrogénio. Esse hidrogénio poderá estar sob a forma de moléculas de água (H_2O) ou de minerais.

A sonda espacial *Lunar Prospector* foi sacrificada em Julho de 1999, colidindo numa cratera do pólo Sul lunar na esperança de libertar algum vapor de água com o impacto. Várias equipas de investigadores tentaram detectar água no ejecta do impacto, mas sem sucesso. Assim, ou não existia água, ou não existia água suficiente para ser detectada por telescópios terrestres, ou os telescópios não estavam apontados precisamente para o local exacto. De qualquer forma, não foi detectada água com o impacto da *Lunar Prospector*. (Science@NASA 2006)

Se a hipótese de existir gelo subterrâneo em Mercúrio se provar verdadeira, então este planeta é um mundo de extremos, com gelo polar perpétuo, mas com temperaturas diurnas no equador suficientemente elevada para derreter chumbo. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

1.4. Interior de Mercúrio

O diâmetro equatorial de Mercúrio é de 4880 km, correspondente a 1,4 vezes o da Lua, mas o planeta é 1,7 vezes mais denso do que o nosso satélite, o que indica que os dois corpos possuem composições diferentes. A densidade média de Mercúrio é cerca de 5430 kg/m^3 , muito semelhante à da Terra, que é de 5515 kg/m^3 . As rochas da superfície terrestre possuem uma densidade de apenas 3000 kg/m^3 porque são compostas maioritariamente por elementos leves. O valor da densidade média do nosso planeta é aumentado devido à presença de um núcleo de ferro no seu interior. Estudando os sismos, os geólogos deduziram que o núcleo de ferro ocupa cerca de 17% do volume da Terra. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

As pressões que se fazem sentir no interior de um planeta aumentam a densidade das rochas, comprimindo e aproximando os átomos. Como a Terra tem 18 vezes mais massa do que Mercúrio, o peso da sua maior massa comprime muito mais o núcleo terrestre do que a massa de Mercúrio comprime o núcleo mercuriano. Se a Terra não estivesse comprimida a sua densidade seria de 4400 kg/m^3 , enquanto Mercúrio não estando comprimido teria uma densidade de 5300 kg/m^3 . Esta densidade mais elevada, retirado o factor da compressão, significa que Mercúrio possui uma maior proporção de ferro do que a Terra. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Pensa-se que Mercúrio possui uma estrutura interna composta por uma camada de silicatos de 700 km de espessura, que envolve um enorme núcleo de ferro e níquel, ocupando esse núcleo 42% do volume e 60% da massa do planeta. O que torna Mercúrio o planeta mais rico em ferro do Sistema Solar. Várias teorias foram propostas para explicar o elevado teor em ferro do planeta. De acordo com uma dessas teorias, as regiões mais internas da nebulosa solar primordial eram tão quentes que apenas as substâncias com altas temperaturas de condensação (como minerais ricos em ferro) poderiam ter-se condensado em sólidos.

Outra teoria sugere que um breve período de ventos solares muito poderosos, pouco tempo após a formação do Sol, poderia ter despojado Mercúrio do seu manto de baixa densidade. Uma terceira possibilidade sugere que durante os estágios finais da formação do planeta, sofreu o impacto de um grande planetesimal, e que o planeta Mercúrio actual é apenas o que sobrou de um corpo maior. Simulações realizadas em supercomputadores mostram que esta colisão cataclísmica teria ejectado muito do manto mais leve, deixando uma quantidade desproporcional de ferro para formar o planeta que vemos hoje. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Os magnetómetros da sonda espacial *Mariner 10* contribuíram com uma importante pista acerca da estrutura do núcleo ferroso de Mercúrio, ao descobrirem que Mercúrio possui um campo magnético semelhante ao da Terra, mas apenas com 1% da sua força.

Para que um planeta possua um campo magnético global, tem que ter material líquido condutor de electricidade em movimento no seu interior. Este material em movimento age como um dínamo e gera o campo magnético. Assim, podemos concluir que pelo menos parte do núcleo de Mercúrio deverá estar no estado líquido e que deverá existir uma fonte de energia que faz circular o material nesta região líquida, produzindo correntes eléctricas. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

O segundo requisito evidencia que Mercúrio, assim como a Terra, também possui uma parte sólida no seu núcleo. À medida que material nas profundezas do núcleo líquido arrefece e solidifica, para integrar a porção sólida do núcleo, liberta a energia necessária para agitar a movimentação do restante material líquido. O campo magnético de Mercúrio sugere então que o seu núcleo tem a mesma estrutura geral que o núcleo da Terra.

O campo magnético de Mercúrio surpreendeu os cientistas, uma vez que a superfície antiga e coberta de crateras de Mercúrio atesta a falta de actividade geológica, que por sua vez implica que o planeta deverá ter perdido o calor interno que alimentava a actividade geológica. O que seria de esperar de um planeta tão pequeno. Mas a existência de um campo magnético global comprova que Mercúrio ainda se encontra parcialmente fundido, demonstrando que o planeta possui algum calor interno. As evidências das crateras e do campo magnético global encontram-se assim em aparente contradição entre si.

Duas outras observações complicam ainda mais a nossa compreensão do interior de Mercúrio. Pensa-se que a quantidade de material fundido condutor de electricidade que permanece no interior de Mercúrio é demasiado reduzida para ser responsável mesmo pelo fraco campo magnético global. Para além disso, um planeta necessita de uma rotação relativamente rápida para agitar o seu interior fundido no tipo de movimento capaz de gerar um campo magnético, mas no entanto Mercúrio roda muito lentamente. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Qualquer que seja a origem do campo magnético de Mercúrio, este interage com o vento solar de forma muito semelhante ao campo magnético terrestre, apesar de o fazer numa escala muito menor. O vento solar consiste num fluxo constante de partículas carregadas (maioritariamente prótons e electrões) emitido das camadas exteriores da atmosfera superior do Sol. O campo magnético de um planeta pode repelir e desviar essas partículas, formando assim uma cavidade alongada no vento solar chamada magnetosfera.

Detectores de partículas carregadas a bordo da *Mariner 10* traçaram um mapa da estrutura da magnetosfera de Mercúrio. Quando as partículas do vento solar encontram o campo magnético de Mercúrio, são abruptamente desaceleradas, produzindo uma onda de choque que marca a fronteira onde esta repentina perda de velocidade ocorre.

A maioria das partículas do vento solar é desviada à volta do planeta, de forma semelhante à água desviada para ambos os lados da proa de um barco. A magnetosfera de Mercúrio impede assim que o vento solar atinja a superfície do planeta. Devido ao facto de ser muito mais fraco do que o campo magnético terrestre, o campo magnético de Mercúrio não é capaz de capturar partículas do vento solar. Assim não possui estruturas como a cintura de Van Allen que rodeiam a Terra. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

1.5. Observação de Mercúrio

A posição de Mercúrio como o planeta mais interno do Sistema Solar torna-o um objecto difícil de observar (diz-se que Copérnico nunca o viu). Dada a sua proximidade ao Sol, a luz solar complica a observação deste planeta. Assim só se torna visível a olho nu muito pouco antes da alvorada ou muito pouco depois do ocaso quando a sua elongação é suficientemente grande. Pode ser observado por telescópio em pleno dia, tomando-se as devidas precauções para que a luz do Sol não entre no instrumento, o que poderia causar cegueira imediata no observador. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Mercúrio torna-se mais visível a olho nu quando está o mais afastado possível do Sol que lhe é possível, na sua elongação máxima Este ou na sua elongação máxima Oeste. Durante uns dias próximo da sua elongação máxima Este, Mercúrio aparece baixo sobre o horizonte a Oeste como uma estrela vespertina por um curto período de tempo após o pôr-do-sol. Próximo da sua elongação máxima Oeste, Mercúrio pode ser visto como uma estrela matutina que surge antes do Sol no céu a Este. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

No hemisfério norte, as melhores oportunidades de observar este planeta, ocorrem nas aparições vespertinas de Março e Abril e nas matutinas de Setembro e Outubro. No hemisfério sul, as melhores aparições vespertinas ocorrem em Setembro e Outubro, enquanto as matutinas ocorrem em Março e Abril. Mesmo durante as melhores aparições, Mercúrio vê-se bastante perto do horizonte e durante apenas umas três semanas. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

No entanto, durante as suas melhores aparições o planeta Mercúrio é facilmente detectável no céu, pois apresenta um brilho superior ao das estrelas mais brilhantes. Consoante a sua maior ou menor proximidade à Terra e a sua posição orbital, que determina a sua fase, o tamanho aparente varia entre $4,7''$ e $13''$ e a magnitude entre $+2$ e $-1,9$.

A sua observação requer grandes ampliações, que são pouco praticáveis devido à proximidade do horizonte por causa da turbulência atmosférica. Apresenta o aspecto de uma estrela de tom branco cálido e a utilização de binóculos auxilia a sua localização. Deve-se esperar que o Sol esteja completamente abaixo do horizonte antes de usar os binóculos pois os raios solares, focalizados pelas lentes, poderão causar cegueira imediata e irreversível. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Como todos os outros planetas, Mercúrio brilha por reflectir a luz do Sol. Devido à sua órbita ser tão próxima do Sol, é exposto a luz solar em média 7 vezes mais intensa do que a Terra. Para além disso, Mercúrio apresenta-se sempre a uma distância nunca superior a 1.5 U.A. da Terra. Estes factores explicam porque Mercúrio aparece tão brilhante no céu, apesar de possuir um valor baixo de albedo de apenas 0,12 (o que significa que este planeta reflecte 12% da radiação solar que atinge a sua superfície). (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Devido à sua proximidade ao Sol, a elongação máxima de Mercúrio varia entre $17^{\circ} 50'$ quando o planeta está no periélio (distância mínima ao Sol) e $27^{\circ} 50'$ quando está no afélio (distância máxima ao Sol). Como a esfera celeste parece girar a uma velocidade de 15° por hora (360° divididos por 24 horas), Mercúrio nunca nasce mais de 2 horas antes do nascer do Sol ou se põe mais de 2 horas depois do pôr-do-sol.

Infelizmente, a órbita extremamente elíptica e a sua inclinação em relação à eclíptica, muitas vezes colocam Mercúrio a muito menos de 28° acima do horizonte ao nascer ou pôr-do-sol. Por isso algumas elongações são mais favoráveis para a observação do planeta do que outras. De um total de 6 ou 7 grandes elongações que ocorrem a cada ano, geralmente apenas duas são favoráveis para observar o planeta. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Este planeta apresenta fases como as da Lua, mas de difícil distinção porque o disco de Mercúrio nunca alcança grandes proporções e a turbulência da atmosfera junto ao horizonte impede que as imagens sejam nítidas e estáveis. Nos poucos momentos em que a imagem estabiliza, o planeta apresenta uma cor acinzentada sem traços superficiais.

A observação das fases de Mercúrio requer um telescópio de pelo menos 60 mm de abertura e uma ampliação não inferior a $120\times$. O diâmetro aparente do planeta é maior durante a fase minguante, nas elongações vespertinas, e a fase crescente nas elongações matutinas. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

As melhores observações telescópicas são obtidas durante o dia, quando o planeta se encontra alto no céu, muito acima da turbulência da atmosfera próxima ao horizonte. Um filtro amarelo pode eliminar muita da luz azul do nosso céu. Devido à grande distância a que o planeta se encontra, nenhum dos detalhes da superfície de Mercúrio, revelados pela sonda *Mariner 10*, é visível da Terra com telescópio. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

O período sinódico de Mercúrio é cerca de $1/3$ de um ano Terrestre, o que significa que este planeta passa por conjunção inferior, quando está directamente entre a Terra e o Sol, pelo menos 3 vezes por ano. Assim, seria de esperar que se pudesse observar ocasionalmente a silhueta de Mercúrio sobre o Sol. No entanto, essas passagens, que são chamadas de trânsitos solares, ocorrem em raras ocasiões, uma vez que a órbita de Mercúrio está inclinada 7° em relação ao plano da eclíptica. Em resultado dessa inclinação, Mercúrio encontra-se normalmente muito acima ou muito abaixo do disco solar no momento em que ocorre a conjunção inferior.

Para um trânsito solar ocorrer, o Sol, Mercúrio e a Terra devem estar quase perfeitamente alinhados. Esta disposição só pode ocorrer em Maio e Novembro, quando a Terra está localizada perto da linha ao longo da qual a órbita Mercúrio intersecta o plano da órbita da Terra. Mesmo assim, só ocorrerá um trânsito solar se Mercúrio estiver em conjunção inferior na altura.

O primeiro trânsito do século XXI ocorreu a 8 de Novembro de 2006 e o segundo só ocorrerá a 9 de Maio de 2016. Os trânsitos mais longos ocorrem em Maio, quando Mercúrio está próximo do afélio e viaja mais lentamente na sua órbita. A duração máxima de um trânsito solar é de 9 horas. O trânsito de 8 de Novembro de 2006, em comparação, durou apenas cerca de 4 horas.

A cronometragem do trânsito de Mercúrio através do disco solar já chegou a ser utilizada por astrónomos para inferir o diâmetro do Sol. Para observar este evento deve-se proceder à preparação de um telescópio para a observação solar, colocando um filtro solar adequado. Mercúrio aparece como um círculo minúsculo que se move lentamente sobre o disco solar. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

1.6. Missões a Mercúrio

O planeta mais próximo ao Sol foi visitado por apenas uma sonda espacial, a norte-americana *Mariner 10*, cuja missão foi autorizada pela NASA em Dezembro de 1969. Pela primeira vez no programa *Mariner* a sonda não foi construída pelo J.P.L. (Jet Propulsion Laboratory) mas pela Boeing Corporation. A *Mariner 10* foi colocada em rota para Vénus por um foguete Atlas–Centaur a 3 de Novembro de 1973.

Esta sonda espacial foi a primeira a utilizar a técnica da assistência da gravidade para navegação interplanetária, graças aos cálculos do cientista Italiano Giuseppe Colombo. Assim, a 5 de Fevereiro de 1974 a sonda passou por Vénus na localização precisa para ser deflectida e abrandar a sua velocidade, devido à atracção gravítica do planeta, permitindo à *Mariner 10* cair em direcção ao Sol e alcançar a órbita de Mercúrio. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A sonda espacial sobrevoou o planeta pela primeira vez a 29 de Março a uma distância de 703 km e foi deflectida para uma nova órbita à volta do Sol de 176 dias, o intervalo exacto de 2 anos mercurianos. O segundo encontro com Mercúrio ocorreu a 21 de Setembro de 1974, a cerca de 50 000 km, tendo sido esta maior distância escolhida para aumentar a cobertura fotográfica. A terceira visita aconteceu a 16 de Março de 1975 a uma altitude de 327 km e foi dirigida à face noturna do planeta de forma a maximizar a informação acerca do campo magnético e da magnetosfera de Mercúrio. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Nas alturas em que a *Mariner 10* estaria mais próxima da superfície de Mercúrio, o planeta estaria com a face noturna voltada para a sonda espacial, impossibilitando a obtenção de imagens. Assim, a recolha de fotografias foi dividida em duas partes (vistas de aproximação, obtidas aquando da aproximação ao planeta, e vistas de afastamento, obtidas aquando do afastamento do planeta), que foram posteriormente combinadas. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Durante as três aproximações, a *Mariner 10* proporcionou as primeiras imagens da superfície de Mercúrio enviando para a Terra cerca de 12000 imagens, correspondendo a uma cobertura de 45% do planeta com uma resolução de 1 km e menos de 1% com resoluções entre 100 a 500 metros. Esta cobertura e resolução são comparáveis às que possuíamos, produzidas por telescópios, da Lua antes da era espacial.

As imagens da *Mariner 10* revelam apenas um dos hemisférios da superfície de Mercúrio, dado que o intervalo de tempo entre aproximações era o dobro do período orbital do planeta e o triplo do seu período de rotação. Assim, a mesma face de Mercúrio estava voltada para o Sol durante cada uma das aproximações. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

As câmaras da *Mariner 10* estavam equipadas com dois telescópios *Cassegrain* para obter imagens de alta e baixa resolução, e diferentes filtros rotativos para permitir fotografias em diferentes comprimentos de onda, incluindo o ultravioleta.

A carga que a sonda transportava incluía entre outros instrumentos científicos, um telescópio de partículas carregadas, um radiómetro de infravermelhos e dois espectrómetros de ultravioleta. Um dos espectrómetros foi desenhado para detectar brilho atmosférico, e o outro para sondar a atmosfera mercuriana olhando para o Sol enquanto este se ocultava. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A *Mariner 10* detectou uma escassa atmosfera de hélio e a magnetosfera, mediu as temperaturas extremas na superfície, obteve o diâmetro e massa do planeta, descobriu o núcleo maciço de ferro e níquel, mas não detectou traços de uma ionosfera. A *Mariner 10* esgotou as suas reservas de gás para controlo de altitude a 24 de Março de 1975 e o transmissor da sonda espacial foi desligado pela última vez, terminando a missão após 506 dias e quase 1,6 biliões de quilómetros viajados. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

De todas as sondas *Mariner*, a *Mariner 10* foi a mais complexa e sofisticada, a sua missão foi a primeira a visitar dois planetas e a realizar três visitas ao mesmo planeta. Foi a primeira sonda espacial a enviar fotografias em tempo real em vez de as armazenar. Painéis solares giratórios foram utilizados pela primeira vez para manter a temperatura e gerar energia.

Foi tentada a navegação solar pela primeira vez, modificando as posições dos painéis solares e a antena de alto-ganho para manter a orientação da sonda espacial utilizando a pressão da radiação solar, sem gastar gás para controlo de altitude. Esta técnica de navegação solar tornou possível o terceiro encontro. Pela primeira vez foi empregue navegação óptica, usando as câmaras a bordo para obter os ângulos entre Mercúrio e as estrelas. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Mas muito acerca da história e evolução de Mercúrio permaneceu ainda por saber. Quais são as características da face do planeta que a sonda espacial *Mariner 10* não viu? Qual é a composição química das rochas da sua superfície? Terá sido a superfície de Mercúrio completamente fundida outrora?

O que causou o teor tão alto em ferro de Mercúrio? Que porção do núcleo do planeta é líquida e que porção é sólida? Existirão de verdade gelos perpétuos nos pólos? Para responder a estas e outras questões serão necessárias extensas observações de Mercúrio realizadas por outras sondas espaciais. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Uma missão norte-americana regressará a este planeta para recolher mais imagens e dados, a *MESSENGER* (*ME*rcury *S*urface, *S*pace *EN*vironment, *GE*ochemistry, and *R*anging). A sonda espacial *MESSENGER* foi lançada da estação da Força Aérea do Cabo Canaveral, na ponta do foguete Boeing *Delta II*, a 3 de Agosto de 2004.

Voltou à Terra a 2 de Agosto de 2005 para aumentar a sua velocidade utilizando a força da atracção gravítica terrestre, e em seguida fez duas aproximações a Vénus, em Outubro de 2006 e Junho de 2007. A sonda usou então a força da atracção gravítica venusiana para redimensionar e orientar a sua trajectória em direcção à órbita de Mercúrio. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (N.A.S.A. Home Page 2009)

Durante as três aproximações a Mercúrio, em Janeiro de 2008, Outubro de 2008 e Setembro de 2009, a sonda espacial recolheu imagens a cores do planeta inteiro, obtendo imagens das áreas que não foram vistas pela *Mariner 10*. Se tudo correr como o planeado, a *MESSENGER* entrará numa órbita de 12 meses (dois dias mercurianos) em torno de Mercúrio a Março de 2011, gastando nessa operação cerca de 33% do seu propelente.

Após se encontrar numa órbita estável, a pressão da radiação solar será utilizada para realizar ajustes na sua órbita, aumentando a altura mínima da sonda, latitude e inclinação da órbita. A órbita da *MESSENGER* em volta de Mercúrio será muito elíptica, a 200 km acima da superfície no periélio e a mais de 15193 km no afélio. O plano da órbita terá uma inclinação de 80° ao equador de Mercúrio e o ponto mais baixo da órbita será atingido a uma latitude de 60° N.

A órbita a baixa altitude sobre o hemisfério Norte permitirá à *MESSENGER* realizar investigações detalhadas da geologia e composição da gigantesca bacia *Caloris*, a maior característica conhecida da superfície do planeta.

Verificará a existência de gelo perto dos pólos, realizará medições detalhadas da composição da superfície e atmosfera, e poderá revelar a natureza do núcleo e magnetosfera de Mercúrio. A sonda espacial irá enviar para a Terra os primeiros dados novos de Mercúrio em mais de 30 anos. (N.A.S.A. Home Page 2009)

Outra missão a Mercúrio, a *BepiColombo*, está a ser planeada pela Agência Espacial Europeia (E.S.A. - European Space Agency) em colaboração com o Instituto de Ciências Espaciais e Astronáutica (I.S.A.S. - Institute of Space and Astronautical Science). Baptizada em honra do físico que propôs o acoplamento rotação-órbita 3 para 2 de Mercúrio, a *BepiColombo* é na verdade composta por 2 sondas espaciais que irão orbitar o planeta.

A E.S.A. está a construir uma das sondas, a *Mercury Planetary Orbiter* (M.P.O.) e a agência espacial japonesa I.S.A.S./J.A.X.A. construirá a outra, a *Mercury Magnetospheric Orbiter* (M.M.O.). A M.P.O. estudará a superfície e a composição interna do planeta, enquanto a M.M.O. estudará o magnetosfera de Mercúrio.

A *BepiColombo* será lançada em Agosto de 2013 a bordo de um foguete Soyuz 2-1B/Fregat-M, iniciando a sua missão de aproximadamente 6 anos. Consistindo em duas sondas espaciais a *BepiColombo* é uma missão grande e cara, uma das bases do programa de científico a longo prazo da E.S.A.

Esta missão apresenta desafios enormes, uma vez que todas as missões interplanetárias anteriores da E.S.A. foram enviadas para regiões relativamente frias do Sistema Solar. A *BepiColombo* será a primeira experiência da Agência Espacial Europeia de enviar sondas para regiões quentes do Sistema Solar. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (E.S.A. Home Page 2006)

A viagem da Terra para Mercúrio também será uma experiência nova para a E.S.A. A *BepiColombo* irá utilizar a gravidade da Lua, Vénus e de Mercúrio, assim como propulsão eléctrica solar (S.E.P. - Solar Electric Propulsion) para abrandar a sua velocidade, que irá aumentar com a proximidade ao Sol. A eficácia desta combinação inovadora de propulsão espacial fraca e gravidade já foi demonstrada pela missão SMART-1 da E.S.A.

Ao chegar a Mercúrio em Agosto de 2019, a sonda espacial irá usar a gravidade do planeta e um foguete convencional para se inserir numa órbita polar. O M.M.O. será colocado na sua órbita operacional, enquanto o sistema de propulsão química trará o M.P.O. para uma órbita mais baixa.

A missão *BepiColombo* irá estudar: a origem e evolução de Mercúrio; a forma, interior, estrutura, geologia, composição e crateras do planeta; a composição e dinâmica da atmosfera vestigial (exosfera); a estrutura e dinâmica da magnetosfera; e testar a teoria da relatividade geral de Einstein. As sondas espaciais irão suportar temperaturas até 350°C e recolher dados entre Setembro 2019 e Setembro de 2020, com uma possível extensão até Setembro de 2021. (E.S.A. Home Page 2006)

O centro de operações da missão será localizado no Centro de Operações Espaciais Europeu (E.S.O.C.) em Darmstadt, na Alemanha. As estações terrestres de telemetria da M.P.O. e M.M.O. serão respectivamente, o Cebreros (antena de 35 m) em Espanha e o Usuda (antena de 64 m) no Japão. Até lá, Mercúrio continuará a ser um dos planetas mais enigmáticos do Sistema Solar. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (E.S.A. Home Page 2006)

1.7. História de Mercúrio

O planeta Mercúrio é conhecido pelo menos desde o tempo dos sumérios (terceiro milénio a.C.) devido ao facto de ser mais brilhante do que qualquer estrela durante as suas melhores aparições. Este planeta teve um importante papel religioso nas crenças maias, egípcias, gregas e romanas. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Na Babilónia, um grupo de escribas tinha começado a meio do século VII a.C. a registar uma notável variedade de fenómenos datados a que chamamos agora de Diários. Muitas centenas de fragmentos Diários da Babilónia sobreviveram até aos nossos dias, datando de 652 a 61 a.C., sendo a maioria dos últimos três séculos a.C.

Tipicamente um Diário cobria metade do ano lunar, ou seja, seis ou sete meses lunares. Para cada mês, de noite e de dia, eram registados no Diário observações dos corpos celestes e tempo meteorológico, e cada mês terminava com registos de preços de artigos comerciais, o nível do rio Eufrates e eventos correntes.

Para os planetas, os Diários registavam passagens pelas estrelas normais e aproximações entre planetas, e também certos eventos nos ciclos sinódicos destes. Os fenómenos sinódicos registados de Saturno, Júpiter e Marte consistiam nas suas aparições e ocultações, assim como as aparições de Vénus e Mercúrio como estrelas matutinas e vespertinas. Uma vaga localização dos planetas, aquando dos fenómenos sinódicos, era registada em relação a uma constelação e, em Diários mais recentes, pelo símbolo zodiacal ocupado pelo planeta.

Nas suas formas mais antigas, *Mercúrio* aparece relacionado com a divindade Etrusca *Turms*, mas a maioria das suas características foram adoptadas da divindade grega *Hermes*. Os gregos deram-lhe dois nomes: *Apolo* pela sua aparição como estrela matutina e *Hermes* como estrela vespertina. No entanto, os astrónomos gregos sabiam que os dois nomes se referiam ao mesmo planeta.

Na mitologia romana, Mercúrio era o deus encarregado de levar as mensagens de Júpiter, da eloquência, dos jogos, do comércio, dos viajantes, dos ladrões e a personificação da inteligência. Mercúrio era filho de Júpiter e de Maia, nascido em Cilene no monte de Arcádia, e o seu nome deriva da palavra latina *Merx* para comércio, comerciante e mercadoria.

Os seus atributos incluem uma bolsa, umas sandálias e um capacete com asas, uma varinha de condão e o caduceu. O Caduceu ou emblema de Mercúrio, é um bastão em torno do qual se entrelaçam duas serpentes e cuja parte superior é adornada com asas. O planeta terá recebido este nome devido ao seu movimento extremamente rápido no céu nocturno. O símbolo astronómico para Mercúrio é uma versão estilizada da cabeça do deus e chapéu alado sobre o caduceu. (Windows to the Universe. 2000-04) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Claudius Ptolemaeus, ou Ptolomeu (100 - 178) foi um astrónomo grego reconhecido pelos seus trabalhos em astrologia, astronomia e cartografia. Na sua teoria dos planetas, com as órbitas circulares e os epiciclos, lançou as fundações para toda a teoria planetária posterior, incluindo os trabalhos de Nicolau Copérnico (1473 – 1543), e que não viria a ser alterada por 14 séculos até Johannes Kepler (1571 - 1630). O critério de Ptolomeu para ordenar os planetas no *Almagest* é o seu período zodiacal: em ordem descendente das estrelas fixas, Saturno, Júpiter, Marte, Sol, Vénus, Mercúrio e Lua. A Terra era considerada como o centro do Universo na teoria ptolomaica.

Segundo Ptolomeu, o Sol, Vénus e Mercúrio possuíam o mesmo período, um ano. O astrónomo grego coloca o Sol entre os planetas superiores (Saturno, Júpiter e Marte, que alcançam a oposição ao Sol) e os planetas inferiores, Vénus e Mercúrio, que alcançam apenas uma elongação limitada. A Lua alcança a oposição, mas é colocada mais abaixo uma vez que possui o período mais curto, pode ocultar todos os corpos mais altos e tem uma grande e mensurável paralaxe, o que mostra que está próxima da Terra.

Copérnico, um astrónomo e matemático polaco, desenvolveu a teoria Heliocêntrica, que colocou o Sol no centro do Sistema Solar, contrariando a então vigente teoria Geocêntrica de Ptolomeu. Mercúrio, assim como os outros planetas, passavam agora a girar em torno do Sol. A teoria coperniciana permitiu também a emancipação da cosmologia da teologia, constituindo o ponto de partida da astronomia moderna.

Kepler, um matemático, astrónomo e astrólogo alemão, formulou as três leis fundamentais da mecânica celeste, conhecidas como leis de Kepler. O astrónomo alemão descobriu que a órbita dos planetas consistia numa elipse com o Sol situado num dos focos. A órbita de Mercúrio passou a ser uma elipse em detrimento da órbita circular defendida pelos gregos. Os trânsitos de Mercúrio e Vénus pelo disco solar foram previstos com exactidão pela primeira vez por Kepler, nas suas Tabelas Rudolfinas (em honra ao imperador Rudolf II von Habsburg) de movimentos planetários.

Através destas previsões, Pierre Gassendi (1592 – 1655) um teólogo francês, observou o primeiro trânsito registado de Mercúrio em 1631. Oito anos depois, Jeremiah Horrocks (1618 - 1641) um astrónomo inglês, também utilizou as tabelas de Kepler, para realizar a primeira observação de um trânsito de Vénus. John Bevis (1695 - 1771) um médico e astrónomo amador inglês, foi a única pessoa a ter observado telescopicamente a ocultação de um planeta por outro. Bevis observou a ocultação de Mercúrio por Vénus a 28 de Maio de 1737 e a próxima ocultação será a de Neptuno por Mercúrio em 2067. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

O astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli (1835 - 1910) tentou elaborar o primeiro mapa de Mercúrio durante os anos 80 do século XIX. O mapa de Schiaparelli mostra a superfície de Mercúrio atravessada por linhas semelhantes às que o astrónomo tinha observado em Marte e designado por “canais”. Nenhuma observação posterior confirmou a existência destas estruturas, que na verdade, eram ilusões de óptica.

O astrónomo, como outros do seu tempo, concluiu erradamente que Mercúrio mantém sempre a mesma face virada para o Sol. As melhores observações de Mercúrio foram feitas por um astrónomo grego, Eugène Antoniadi (1870 - 1944), no início do século XX. Algumas marcas observadas pelo astrónomo na superfície de Mercúrio podem ser correlacionadas com as fotografias da *Mariner 10*. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A melhoria da precisão com que as posições planetárias podiam ser medidas revelou, no século XIX, um avanço dos periélios de Mercúrio de $0,43''$ por ano. O matemático francês, especializado em mecânica celeste, Urbain Le Verrier (1811 - 1877) tentou explicar este fenómeno postulando a existência de outro planeta (a que chamou Vulcano) que perturbaria a órbita de Mercúrio, mas que nunca foi encontrado.

Foi Albert Einstein (1879 – 1955), físico alemão, quem explicou o avanço do periélio de Mercúrio com a sua teoria da Relatividade Geral, algo que a teoria gravitacional de Newton não conseguia explicar. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Já havia sido sugerido desde 1865 que seria o efeito gravitacional de maré solar que manteria Mercúrio em rotação síncrona, quando se pensava que o seu período de rotação seria igual ao seu período sideral. Outros objectos no Sistema Solar possuem rotação síncrona.

Por exemplo, o efeito gravitacional de maré do planeta Terra mantém a Lua em rotação síncrona, fazendo com que o nosso satélite mostre sempre a mesma face. O efeito de maré também mantém as duas luas de Marte sempre com o mesmo lado voltado para o planeta, assim como muitos dos satélites de Júpiter, de Saturno e a lua de Plutão, Caronte.

Mas não é desta forma que ocorre a rotação de Mercúrio. A primeira pista acerca da verdadeira rotação de Mercúrio surgiu em 1962, quando astrónomos detectaram radiações de rádio provenientes do planeta.

Todos os objectos densos emitem radiações electromagnéticas com um espectro contínuo. O comprimento de onda dominante desta radiação depende da temperatura do objecto. Um objecto denso deixa de emitir radiações apenas à temperatura de zero absoluto.

Se Mercúrio possuísse uma rotação síncrona, um lado do planeta permaneceria numa escuridão fria perpétua, muito próxima do zero absoluto. Para testar esta ideia, em 1962 o radioastrónomo W. E. Howard e os seus colegas na Universidade do Michigan começaram a monitorar as radiações provenientes de Mercúrio. Se o planeta tivesse um lado que fosse muito frio, a sua emissão seria feita principalmente a grandes comprimentos de onda.

Um radiotelescópio foi usado para estas observações, relevando para sua grande surpresa que a temperatura na face noturna do planeta era de cerca de -173°C . A temperatura obtida não era tão baixa como o esperado, contradizendo a ideia da rotação síncrona. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Uma ideia foi avançada na altura para explicar as observações de W. E. Howard, que Mercúrio possuía uma rotação síncrona, mas que os ventos na atmosfera do planeta transportavam calor da face diurna para a face noturna. Na verdade as temperaturas durante o dia são demasiado altas e a gravidade do planeta é demasiado fraca para reter uma atmosfera substancial, tornando impossível a existência de ventos.

A observação que veio retirar todas as dúvidas foi feita em 1965, quando Rolf B. Dyce e Gordon H. Pettengill utilizaram o radiotelescópio de 305 m do Arecibo Observatory em Porto Rico para reflectir poderosos pulsos de radar na superfície de Mercúrio. A radiação enviada consistia em microondas de um comprimento de onda muito específico.

No sinal reflectido do planeta, o comprimento de onda havia sido desviado devido ao efeito de Doppler. À medida que Mercúrio rodava, um dos lados do planeta aproximava-se da Terra, enquanto o outro se afastava da Terra. O comprimento de onda das microondas que reflectiam no lado que se aproximava era diminuído, enquanto no lado que se afastava era aumentado. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Assim, o pulso de radar era emitido com um comprimento de onda específico mas era devolvido por Mercúrio distribuído numa pequena escala de comprimentos de onda. A partir da largura desta escala de comprimentos de onda, Rolf B. Dyce e Gordon H. Pettengill deduziram que o período de rotação de Mercúrio seria aproximadamente de 58,6 dias. Um físico italiano, Giuseppe Colombo (1920 – 1984), achou este número intrigante uma vez que era muito próximo de $2/3$ do período sideral de Mercúrio que é de 87,969 dias.

Colombo especulou então que o verdadeiro período de rotação de Mercúrio seria exactamente $2/3$ do período sideral ou 58,646 dias. O físico apercebeu-se que este valor significaria que Mercúrio possuía um acoplamento rotação-órbita 3 para 2, ou seja o planeta realiza 3 rotações sobre o seu eixo para cada duas órbitas completas à volta do Sol.

Nenhum outro planeta ou satélite no Sistema Solar possui esta curiosa relação entre o seu movimento de rotação e o seu movimento orbital. Com as suas conclusões Colombo descobriu a manobra orbital que propôs à N.A.S.A., e que veio a tornar possíveis as três aproximações da sonda espacial *Mariner 10* a Mercúrio. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A especulação de Colombo foi confirmada por outras observações de radar e mais tarde pela sonda espacial *Mariner 10*. Após a sua primeira aproximação a Mercúrio na Primavera de 1974, a sonda *Mariner 10* foi colocada numa órbita à volta do Sol com um período orbital de 176 dias. Este período orbital traria a sonda espacial de volta ao planeta cada 2 anos mercurianos, tempo suficiente para o planeta completar 3 rotações.

Durante a segunda e terceira aproximações, as câmaras da sonda espacial mostraram que a mesma face de Mercúrio, aquando da primeira aproximação, estava voltada para o Sol. O que confirmou que Mercúrio roda 3 vezes sobre o seu eixo a cada duas órbitas que efectua à volta do Sol. A missão que a E.S.A. programou enviar a Mercúrio em 2013 foi chamada *BepiColombo* em reconhecimento às contribuições deste físico italiano para a astronomia e exploração espacial. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

1.8. Dados físicos de Mercúrio

Distância máxima ao Sol	$6,98 \times 10^7$ km
	0,467 U.A.
Distância mínima ao Sol	$4,60 \times 10^7$ km
	0,307 U.A.
Distância média ao Sol	$5,79 \times 10^7$ km
	0,387 U.A.
Excentricidade da órbita	0,206
Velocidade orbital média	47,9 km/s
Período de rotação	58,65 dias
Período sideral	87,97 dias
Período sinódico	115,88 dias
Inclinação da órbita em relação ao plano da órbita da Terra	7° 00' 16''
Inclinação do equador em relação ao plano da órbita	0,5°
Diâmetro equatorial	4880 km
Diâmetro equatorial (em diâmetros terrestres)	0,383
Massa	$3,30 \times 10^{23}$ kg
Massa (em massas terrestres)	0,055
Massa volúmica média	5430 kg/m ³
Gravidade à superfície (em gravidades terrestres)	0,38
Velocidade de escape	4,3 km/s
Albedo	0,12
Temperatura média na superfície de dia	350°C
Temperatura média na superfície de noite	-170°C
Atmosfera	Praticamente inexistente
Número de satélites conhecidos	0

Tabela 2 - Dados físicos de Mercúrio

(Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

(Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Anexo 2. Vénus

2.1. Introdução

Vénus roda muito lentamente, sendo o seu período de rotação de 243,01 dias é superior ao seu período sideral de 224,70 dias. Um observador imaginário em Vénus que conseguisse ver através da cobertura de nuvens, observaria as estrelas a moverem-se no céu a um ritmo de $1\frac{1}{2}^{\circ}$ a cada 24 horas, enquanto na Terra as estrelas movem-se $1\frac{1}{2}^{\circ}$ a cada 6 minutos. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Para além de rodar lentamente, a rotação de Vénus é retrógrada. A maioria dos planetas do Sistema Solar roda sobre os seus eixos no sentido directo (para um observador a espreitar de Norte). Planetas com rotação no sentido directo rodam sobre os seus eixos na mesma direcção em que orbitam o Sol. Visto da superfície de um planeta com rotação no sentido directo, como a Terra, o Sol e as estrelas nascem a Este e põem-se a Oeste. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A rotação de Vénus, sendo retrógrada, é contrária ao sentido da translação em torno do Sol. Se um observador na superfície de Vénus conseguisse ver através da cobertura de nuvens, veria o Sol e as estrelas a nascerem a Oeste e a porem-se a Este.

Uma das abordagens dos astrónomos para estudar a rotação de Vénus consiste em acompanhar a progressão de características na cobertura de nuvens venusiana. Mas ventos na atmosfera fazem essas características moverem-se relativamente à superfície de Vénus, assim esta abordagem não produz uma medida correcta da rotação do planeta. Como a luz visível não penetra a cobertura perpétua de nuvens, os astrónomos usam diferentes formas de radiação electromagnética que penetrem o manto de nuvens e atinjam a sua superfície.

Nuvens podem conter gases, poeiras, neblina, gotículas de água ou outras partículas pequenas. De uma forma geral, a radiação electromagnética consegue passar facilmente através de nuvens se o seu comprimento de onda for grande quando comparado com o tamanho das partículas. A atmosfera torna-se transparente para esse tipo de radiação electromagnética. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

As nuvens na Terra são compostas por gotículas de água com um diâmetro médio de 20 000 nm. A luz visível possui um comprimento de onda entre 400 e 700 nm, que é menor que o tamanho das gotículas, não consegue atravessar as nuvens e é por isso que dias de céu nublado são mais escuros que dias de céu limpo.

Mas ondas de rádio, com comprimentos de onda de 0,1 m ou mais, e microondas com comprimentos de onda entre 10^{-3} m a 0,1 m, podem atravessar nuvens facilmente. É por isso que a televisão, o rádio e o telemóvel funcionam igualmente bem tanto em dias nublados como em dias limpos. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

As nuvens de Vénus também são transparentes a ondas de rádio e a microondas. No início dos anos 60 do século XX, avanços na tecnologia de radiotelescópios tornaram possível enviar radiação de microondas para Vénus e detectar as ondas reflectidas na sua superfície. Estas observações permitiram efectuar medições da rotação de Vénus. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

A ideia consistia em medir como o comprimento de onda da radiação reflectida diferia do comprimento de onda da radiação enviada para o planeta. Se um feixe de microondas for enviado da Terra para Vénus com um comprimento de onda preciso, as ondas reflectidas voltam para a Terra espalhadas num pequeno leque de comprimentos de onda. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Este fenómeno é uma consequência do efeito de Doppler: ondas reflectidas no lado que se aproxima do planeta em rotação diminuem o seu comprimento de onda, enquanto ondas reflectidas no lado que se afasta do planeta em rotação aumentam o seu comprimento de onda.

Através do espalhamento do comprimento de onda, os astrónomos conseguem determinar a velocidade com que Vénus roda, e determinando qual dos lados se afasta e qual se aproxima conseguem saber se a rotação é feita no sentido directo ou retrógrado. Este tipo de medições confirmou que a rotação de Vénus é lenta e retrógrada. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Se pudéssemos observar o Sistema Solar a grande distância veríamos todos os planetas a orbitar o Sol num movimento contrário ao dos ponteiros do relógio. Uma observação mais atenta revelaria que a maioria dos planetas também roda num movimento contrário ao dos ponteiros do relógio sobre os seus eixos, com a excepção de Vénus, Úrano e Plutão.

A maioria dos satélites dos planetas também se move num movimento contrário ao dos ponteiros do relógio na sua órbita e rodam nessa mesma direcção. Assim, a rotação de Vénus não é apenas contrária ao seu movimento orbital, também é oposta à maioria dos movimentos orbitais e de rotação do Sistema Solar.

O Sol e os planetas formaram-se a partir de uma nebulosa solar que se encontrava em rotação. Se não estivesse em rotação, todo o material da nébula teria caído para o protosol, não deixando material para a formação dos planetas.

Como os planetas se formaram a partir do material em rotação da nébula, tendem a rodar sobre os seus eixos na mesma direcção. É difícil de imaginar como é que 3 planetas possam ter escapado a essa tendência. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Uma teoria sugere que a força das marés solares tendem a alongar a atmosfera venusiana em direcção ao Sol e a fricção entre a atmosfera e a superfície de Vénus desacelerou a rotação do planeta. Por si só a força das marés colocariam Vénus numa rotação síncrona em sentido directo, mas o calor do Sol no lado iluminado de Vénus gera ventos poderosos na atmosfera do planeta, e as forças friccionais destes ventos conduziram Vénus a uma lenta rotação retrógrada. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

2.2. Atmosfera de Vénus

Vénus é banhada mais intensamente pela luz solar que a Terra porque se encontra mais perto do Sol. Se Vénus não possuísse atmosfera e a sua superfície possuísse um albedo semelhante a Mercúrio e à Lua, o calor do Sol colocaria a temperatura média à superfície à volta dos 45°C. Temperatura semelhante à que se faz sentir nas regiões mais quentes da Terra.

Gases como o vapor de água (H_2O) e o dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera terrestre aprisionam alguma da radiação infravermelha que é emitida pela superfície do nosso planeta. Este fenómeno chamado efeito de estufa, eleva a temperatura tanto da atmosfera como da superfície. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Em 1932, Walter S. Adams e Theodore Dunham Jr. no Mount Wilson Observatory encontraram linhas de absorção de CO_2 no espectro da luz solar reflectida de Vénus, indicando a presença de dióxido de carbono na atmosfera venusiana. O que significa que a superfície de Vénus, assim como a da Terra, é aquecida pelo efeito de estufa.

No entanto, a cobertura perpétua de nuvens de Vénus reflecte para o espaço uma quantidade substancial da energia solar que atinge o planeta. Este efeito por si só arrefece a superfície de Vénus, assim como as nuvens na nossa atmosfera tornam os dias encobertos mais frios que dias de céu limpo. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A primeira aproximação a Vénus foi feita pela sonda espacial norte-americana *Mariner 2* em 1962. Esta sonda transportava instrumentos que mediram a radiação proveniente do planeta em dois comprimentos de onda de microondas, 1,35 cm e 1,9 cm. A atmosfera venusiana é transparente para ambos os comprimentos de onda permitindo à *Mariner 2* medir radiação que havia sido emitida pela superfície do planeta. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Um objecto denso, como a superfície de um planeta, emite radiação cuja intensidade e espectro depende da temperatura do objecto. Da quantidade de radiação que a *Mariner 2* detectou nos comprimentos de onda de 1,35 cm e 1,9 cm os astrónomos concluíram que a temperatura à superfície de Vénus é superior a 400°C, mais elevada do que a que se faz sentir em Mercúrio.

Assim, não pode existir água líquida à superfície do planeta. Como o vapor de água absorve microondas a 1.35 cm, se existissem quantidades substanciais de vapor de água na atmosfera venusiana, esse comprimento de onda teria sido impedido de alcançar os detectores a bordo da *Mariner 2*. Na verdade, a sonda espacial detectou fortes emissões no comprimento de onda de 1,35 cm, indicando que a atmosfera de Vénus também não possui água. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Esta imagem de Vénus como um mundo seco e extremamente quente foi reforçada por sondas espaciais subsequentes lançadas entre 1960 e 1970. Os Estados Unidos da América enviaram uma série de sondas espaciais leves a Vénus para estudar o planeta e o seu ambiente. A União Soviética que possuía foguetes mais poderosos, enviou veículos massivos directamente para as nuvens venusianas. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Construir sondas espaciais que pudessem sobreviver à atmosfera de Vénus tornou-se um desafio maior do que o inicialmente imaginado. Até que em 1970, a sonda espacial *Venera 7* conseguiu transmitir dados durante alguns segundos a partir da superfície venusiana. A sonda *Venera 7* e outros veículos automáticos soviéticos durante o início dos anos 70 do século XX determinaram que a temperatura à superfície é de 460°C e mantém-se praticamente constante.

O sucesso dos veículos automáticos soviéticos constituiu um enorme avanço tecnológico uma vez que a pressão atmosférica à superfície é de 90 atmosferas, ou seja, 90 vezes superior que a pressão média ao nível do mar na Terra. Essa pressão só se faz sentir na Terra 1 km abaixo da superfície dos oceanos. A densidade da atmosfera à superfície de Vénus é igualmente elevada, mais de 50 vezes superior que a densidade da nossa atmosfera ao nível do mar. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A atmosfera venusiana é tão densa que uma vez aquecida pelo Sol retém o calor durante a longa noite de Vénus. Este facto explica porque as temperaturas na face diurna e na face nocturna são praticamente idênticas. Sondas atmosféricas revelaram porque as temperaturas à superfície de Vénus são tão elevadas: 96,5% das moléculas na atmosfera venusiana são de dióxido de carbono (CO₂), com azoto (N₂) a preencher os restantes 3,5%. Como a atmosfera de Vénus é tão espessa e porque a maior parte da atmosfera é composta pelo gás de estufa CO₂, o efeito de estufa é levado a extremos. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Na Terra os gases de efeito de estufa H₂O e CO₂ juntos constituem apenas cerca de 1% da nossa relativamente escassa atmosfera e o efeito de estufa elevou a temperatura à superfície cerca de 41°C. Em Vénus a densa camada de nuvens de CO₂ captura a radiação infravermelha da superfície tão eficazmente que aumentou a temperatura da superfície mais de 400°C.

Sondas espaciais soviéticas e norte-americanas também descobriram que as nuvens de Vénus se encontram confinadas em três camadas situadas a diferentes altitudes. A camada de nuvens mais alta encontra-se entre 68 e 58 km, uma camada mais densa e opaca entre 58 e 52 km, e uma camada ainda mais densa e opaca entre 52 e 48 km. Acima e abaixo das nuvens encontram-se camadas de neblina de 20 km de espessura. Abaixo da camada mais baixa a atmosfera é extremamente límpida até à superfície de Vénus.

Tanto as sondas soviéticas como as norte-americanas transportaram instrumentos que mediram a temperatura e pressão à medida que desceram até à superfície venusiana. Estas medições mostraram que na atmosfera de Vénus, a pressão e a temperatura diminuem suavemente com o aumento de altitude. A atmosfera terrestre possui uma relação mais complexa entre temperatura e altitude.

Medições efectuadas por sondas espaciais demonstraram que o enxofre, que não é encontrado em quantidade apreciável na nossa atmosfera, desempenha um importante papel na atmosfera venusiana. O enxofre combina-se com outros elementos para formar gases como o dióxido de enxofre (SO_2), o sulfureto de hidrogénio (H_2S) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4), o mesmo ácido utilizado nas baterias dos automóveis. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

As nuvens venusianas praticamente não contêm água, são constituídas por gotículas de ácido sulfúrico concentrado. Devido às altas temperaturas que se fazem sentir em Vénus, estas gotículas nunca chovem na superfície do planeta, evaporando a alta altitude. Um efeito semelhante acontece na Terra, num dia quente no deserto sudoeste norte-americano a precipitação que cai das nuvens evapora antes de atingir o solo, um fenómeno conhecido como *virga*.

O ácido sulfúrico na atmosfera de Vénus torna as nuvens num forno de reacções químicas, hostil a metais e a outros materiais sólidos. Por exemplo, reacções com fluoretos e cloretos das rochas da superfície venusiana formam ácido fluorídrico (HF) e ácido clorídrico (HCl). Novas reacções produzem ácido mágico ou superácido (HSO_3F), que é uma das substâncias mais corrosivas conhecidas pelos químicos, capaz de dissolver chumbo, lata, e a maioria das rochas.

A atmosfera venusiana difere da nossa não apenas na sua pressão, temperatura e composição química, mas também nos padrões de circulação global. No início dos anos 80 do século XX, a sonda espacial norte-americana *Pioneer Venus Orbiter* enviou para a Terra numerosas imagens de Vénus tiradas em comprimentos de onda do ultravioleta, nos quais as marcas atmosféricas sobressaem melhor. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (N.A.S.A. Home Page 2006)

Observando marcas individuais nas nuvens, os cientistas determinaram que as camadas mais altas da atmosfera venusiana rodam à volta do planeta em apenas 4 dias, o que confirmou observações anteriores feitas com telescópios terrestres. O rápido movimento da alta atmosfera de Vénus contrasta com a lenta rotação da componente sólida do planeta. Assim como a rotação do planeta, o movimento da atmosfera é realizado em sentido retrógrado, de Este para Oeste. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A *Pioneer Venus Orbiter* consistia em quatro sondas que foram largadas na atmosfera venusiana em 1978, que durante a descida determinaram os padrões de circulação dominantes. Os gases presentes nas regiões equatoriais são aquecidos pelo Sol, então sobem e viajam na camada superior de nuvens em direcção às regiões polares.

Nas latitudes polares os gases arrefecem e descem para a camada inferior de nuvens na qual são transportados de volta para as regiões equatoriais. Este processo de transferência de calor em que gases quentes sobem e os gases frios descem designa-se convecção. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (N.A.S.A. Home Page 2006)

A circulação da atmosfera venusiana é dominada por duas enormes células de convecção, uma no hemisfério Norte e outra no hemisfério Sul, que fazem circular os gases entre as regiões equatoriais e polares do planeta. O padrão de convecção na atmosfera terrestre é mais complexo devido à rápida rotação de Terra que distorce as células de convecção. A circulação é tão eficaz no transporte de calor na atmosfera venusiana que praticamente não existe diferença de temperatura entre o equador e os pólos do planeta.

Enquanto a alta atmosfera realiza a sua rotação de 4 dias à volta do planeta, ventos com velocidades de 350 km/h sopram de Este para Oeste a alta altitude. Estes ventos esticam as células de convecção produzindo as marcas em forma de V características da alta atmosfera de Vénus. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Na Terra a fricção entre a atmosfera e o solo torna a velocidade dos ventos à superfície muito menor que a alta altitude. O mesmo acontece em Vénus, onde a maior velocidade do vento registada à superfície por uma sonda espacial foi de 5 km/h. Apenas leves brisas perturbam as pressões esmagadoras e temperaturas infernais da superfície venusiana.

Tanto na Terra como em Vénus a actividade vulcânica modelou a superfície planetária e influenciou a atmosfera introduzindo novos gases. Apesar dos vulcões venusianos e terrestres serem idênticos as atmosferas de ambos os planetas evoluíram de forma diferente.

A Terra possui água abundantemente nos seus oceanos mas muito pouco dióxido de carbono na sua relativamente ténue atmosfera. Em contraste Vénus é muito seco e a sua espessa atmosfera é constituída principalmente por dióxido de carbono. Mas o que terá acontecido para que dois planetas praticamente idênticos em tamanho acabarem com atmosferas tão diferentes em composição química e densidade? (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

As atmosferas originais de Vénus e da Terra resultaram em parte de gases expelidos por vulcões. Os gases que emanam dos vulcões actuais na Terra são predominantemente, o vapor de água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), e o dióxido de enxofre (SO_2).

Estes gases deveriam ser componentes importantes da atmosfera original tanto em Vénus como na Terra. Muita da água em ambos os planetas pensa-se que provenha do impacto de cometas, corpos gelados formados no exterior do Sistema Solar. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Provavelmente a atmosfera venusiana já foi composta por uma grande percentagem de água. Uma vez que Vénus e a Terra são semelhantes em tamanho e massa, os vulcões venusianos podem ter expelido tanta água como os vulcões na Terra, e ambos os planetas terão recebido um número semelhante de impactos de cometas.

Estudos sobre a evolução das estrelas, sugerem que o nosso Sol inicialmente possuía cerca de 70% da sua luminosidade actual, e assim a temperatura da atmosfera primordial venusiana terá sido mais baixa. O vapor de água poderá ter condensado e formado oceanos em Vénus. Mas se o vapor de água e o dióxido de carbono eram tão comuns nas atmosferas da Terra e de Vénus, o que aconteceu ao CO_2 na Terra e à água em Vénus? (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Na verdade, o CO_2 encontra-se em abundância na Terra, mas encontra-se dissolvido na água dos oceanos ou constitui rochas carbonatadas, como o calcário e o mármore que se formaram nos oceanos. Se a Terra se tornar tão quente como Vénus, muito do CO_2 seria evaporado dos oceanos e libertado da crosta terrestre. O nosso planeta desenvolveria uma espessa e opressiva atmosfera de dióxido de carbono muito semelhante à de Vénus. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Para descobrir a razão da falta de água em Vénus é necessário recuar à história primordial do planeta. À semelhança do que acontece actualmente na Terra, os oceanos venusianos manteriam a quantidade de CO_2 atmosférico controlada, dissolvendo e ligando o dióxido de carbono em rochas carbonatadas. Alguma da água líquida teria evaporado criando uma cobertura de nuvens de vapor de água.

Uma vez que o vapor de água é um gás que produz efeito estufa, esta atmosfera venusiana teria aprisionado com eficiência o calor do Sol. Inicialmente teria pouco efeito nos oceanos venusianos, e apesar da temperatura chegar acima dos 100°C , o ponto de ebulição da água ao nível do mar na Terra, o aumento da pressão atmosférica causado pelo vapor de água manteria a água nos oceanos venusianos no estado líquido. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Vénus pode ter permanecido neste estado por centenas de milhões de anos, mas com a energia solar a aumentar lentamente ao longo do tempo, a temperatura à superfície terá eventualmente subido acima dos 374°C. Acima desta temperatura, apesar da pressão atmosférica, os oceanos venusianos terão começado a evaporar, e o vapor de água introduzido na atmosfera terá aumentado o efeito de estufa.

Esta situação tornou a temperatura ainda mais alta, o que fez os oceanos evaporar ainda mais rapidamente, produzindo ainda mais vapor de água. Este é um exemplo de um efeito de estufa descontrolado, em que um aumento de temperatura causa outro aumento de temperatura, e assim sucessivamente. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Uma vez desaparecidos os oceanos venusianos, também desapareceu o mecanismo de remoção de dióxido de carbono da atmosfera de Vénus. Sem oceanos para o dissolver, o CO₂ começou a acumular na atmosfera fazendo o efeito de estufa aumentar ainda mais depressa. Eventualmente, as temperaturas tornaram-se suficientemente altas para induzir a libertação do CO₂ presente nas rochas carbonatadas. O dióxido de carbono libertado formou a actual espessa atmosfera de Vénus.

O dióxido de enxofre (SO₂) também é um gás com efeito de estufa, que apesar de se encontrar em quantidades muito inferiores ao dióxido de carbono, terá contribuído para o aumento de temperatura em Vénus. O SO₂ também se dissolve na água, um processo que ajuda a moderar a quantidade de dióxido de enxofre na atmosfera. Com a evaporação dos oceanos venusianos, a quantidade de SO₂ terá aumentado.

No entanto, a temperatura em Vénus não poderia aumentar indefinidamente. Com o tempo, a radiação ultravioleta proveniente do Sol terá quebrado as moléculas de água em átomos de hidrogénio e oxigénio. Os átomos de hidrogénio, sendo mais leves, terão escapado para o espaço, enquanto os átomos de oxigénio, sendo mais pesados e quimicamente mais reactivos, ter-se-ão combinado com outras substâncias na atmosfera venusiana.

Eventualmente, praticamente todo o vapor de água da atmosfera venusiana terá sido perdido. Sem vapor de água e com essencialmente todo o dióxido de carbono removido das rochas da superfície, o efeito de estufa terá deixado de aumentar descontroladamente, e a temperatura terá estabilizado. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

À semelhança do que acontece na Terra, os gases expelidos pelos vulcões continuam a introduzir vapor de água na atmosfera, juntamente com dióxido de carbono e dióxido de enxofre. No entanto, em Vénus, estas moléculas de água ou se combinam com o dióxido de enxofre, formando nuvens de ácido sulfúrico, ou são partidas pela radiação ultravioleta proveniente do Sol, permanecendo apenas quantidades ínfimas de vapor de água, cerca de 0,003%, na atmosfera venusiana.

Assim, torna-se impossível a existência de chuva e de oceanos que moderem o efeito de estufa, fazendo com que Vénus possua uma temperatura à superfície de 460°C e demonstrando a importância da água no clima planetário. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

2.3. Superfície de Vénus

Pouco era conhecido acerca da superfície venusiana até aos anos setenta do século XX. Após as primeiras observações terrestres efectuadas pelos radiotelescópios de Goldstone e Arecibo nos anos sessenta do século XX, foram traçados mapas de radar de grandes secções da superfície venusiana pela sonda espacial norte-americana *Pioneer Venus* em 1978 e pelas sondas soviéticas *Venera 15* e *16* em 1983. Este trabalho foi continuado pela sonda norte-americana *Magellan*, cujas observações de radar produziram imagens tridimensionais da topografia venusiana. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (N.A.S.A. Home Page 2006)

Ao contrário da Terra onde existe um elevado contraste em elevação entre os fundos oceânicos e os continentes, em Vénus cerca de 60% do terreno encontra-se até 500 m da elevação média. Mais de 80% da superfície venusiana encontra-se coberta por planícies vulcânicas resultantes de inúmeras escoadas de lava. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Vénus encontra-se repleto de características vulcânicas, estimando-se que existam cerca de um milhão de pequenos vulcões, com menos de 20 km de diâmetro, e um número significativo de vulcões maiores. Os vulcões adoptam formas diferentes, o que pode ser atribuído a diferenças na viscosidade e composição das lavas expelidas. O mesmo acontece na Terra, onde vulcões em diferentes regiões do globo expõem lavas de composição diferente.

Os rios de lava em Vénus estendem-se por algumas centenas de quilómetros, o que significa que a lava permanece fundida por bastante tempo, bastante mais do que na Terra. É muito provável que as elevadas temperaturas que se fazem sentir em Vénus contribuam para a lava permanecer fluida o tempo suficiente para traçar estas características na superfície venusiana.

Apenas algumas terras altas elevam-se acima da superfície nivelada de Vénus. As terras altas no hemisfério norte, chamadas *Ishtar Terra*, em honra à deusa babilónica do amor, são aproximadamente do tamanho da Austrália. *Ishtar Terra* são dominadas por um planalto elevado rodeado por montanhas altas, sendo a mais alta *Maxwell Montes*, que possui uma altitude de 12 km. Em comparação, o Monte Everest na Terra, possui uma altitude de 9 km.

Maxwell Montes, o ponto mais alto da superfície de Vénus, é a única característica venusiana que possui um nome masculino, em honra a James Clerk Maxwell (1831–1879), um físico teórico e matemático escocês. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Foi nomeada em 1970, antes da convenção de atribuir nomes femininos às características venusianas ter sido realizada, como este nome já havia sido vulgarizado foi permitido a permanecer inalterado. O declive a Oeste é muito acentuado, cerca de 35° , enquanto o declive a Este é mais suave, em direcção a uma região conhecida por *Fortuna Tessera*, repleta de dobras e falhas. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

A inclinação e altura de *Maxwell Montes* apontam para uma formação relativamente recente, ou que a crosta por baixo seja forte e espessa, ou ainda que as rochas nesta região possuam uma densidade menor que a densidade média das rochas em Vénus.

O brilho de *Maxwell Montes* nas imagens de radar pode indicar que os seus cumes estão cobertos por um fino depósito de pirite, que em Vénus só pode existir no estado sólido a altas altitudes, onde a pressão e temperatura são suficientemente baixas. A Este encontra-se a cratera de impacto Cleópatra, uma cratera de dois anéis e com 105 km de diâmetro. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (N.A.S.A. Home Page 2006)

As terras altas venusianas mais extensas chamam-se *Aphrodite Terra* (em honra à deusa grega Afrodite a que os romanos chamaram Vénus) e estendem-se por 16000 km à volta do equador do planeta. *Aphrodite Terra* possui 2000 km de largura, conferindo-lhe uma área semelhante à de África. As imagens de radar mostram que *Aphrodite Terra* se encontram cobertas por redes de falhas e fracturas. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Antes de a sonda espacial *Magellan* visitar Vénus, os geólogos interrogavam-se se o interior fluido do planeta teria gerado tectónica de placas, modelando a superfície venusiana. No entanto, as imagens da *Magellan* não mostraram evidência de uma tectónica de placas semelhante à terrestre.

Na Terra, longas cadeias montanhosas de origem vulcânica, como os Andes na América do Sul, formam-se ao longo de limites convergentes de placas tectónicas, onde ocorre subducção. Em Vénus, as características vulcânicas não aparecem em cadeias.

Também se encontra ausente em Vénus o tipo de falhas que ocorre com o afastamento dos fundos oceânicos terrestres. Estas falhas, que são perpendiculares aos *riftes* nos fundos oceânicos, dão um aspecto de escadaria às cristas oceânicas terrestres. Como Vénus não possui evidências de subducção ou de um afastamento semelhante ao dos fundos oceânicos terrestres, tem que possuir um deslocamento horizontal reduzido da sua litosfera. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Assim, como a Lua e Mercúrio, Vénus possui uma única placa. No entanto, ocorreram pequenas deformações localizadas da superfície venusiana, encontrando-se cerca de 1/5 da superfície coberta por cristas dobradas e com falhas. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Mas porque não existe tectónica de placas em Vénus? Uma explicação afirma que a razão pode dever-se à ausência de água. Os movimentos da crosta terrestre são gerados por grandes correntes de convecção na astenosfera, a camada parcialmente fundida que se encontra entre a litosfera e o manto. Esta camada consegue fluir porque contém água, que baixa a temperatura de fusão das rochas que compõem a astenosfera, tornando-a mais plástica.

Na Terra, a água penetra na astenosfera durante o processo de subducção. Porém, Vénus perdeu a água da sua superfície e a atmosfera devido ao intenso efeito de estufa, podendo assim nem sequer existir uma astenosfera sob a crosta venusiana. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Outra explicação coloca a hipótese da litosfera de Vénus ser demasiado plástica para sustentar uma tectónica de placas. As altas temperaturas que se fazem sentir na superfície venusiana podem aumentar a plasticidade das rochas ao ponto de serem incapazes de sustentar a tensão associada à tectónica de placas.

Assim, qualquer grande diferença de elevação na superfície de Vénus desapareceria após poucas dezenas de milhares de anos. Com base nessa hipótese, montanhas altas como a *Maxwell Montes*, têm de ser necessariamente muito jovens, reforçando a ideia de Vénus como um mundo vulcanicamente activo. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Na Terra, forma-se nova crosta nos limites divergentes das placas oceânicas, onde ascende material fluido do interior terrestre. Esta crosta é eventualmente reciclada, descendo novamente para o interior do planeta em zonas de subducção.

Em Vénus, magma ascendente do manto empurra a crosta, elevando-a e produzindo estruturas vulcânicas. Este vulcanismo causado por anomalias térmicas no manto, designadas ponto quente ou *hot-spot*, não adiciona muito material novo à crosta. Em vez disso, a crosta é simplesmente empurrada para os lados.

Como resultado, a crosta é comprimida em locais onde o magma possui um movimento descendente no manto, e esta compressão dobra a superfície em cristas e vales. Este tipo de características pode encontrar-se nas amplas planícies de lava em Vénus. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Vénus possui provavelmente cerca de um milhar de crateras superiores a alguns quilómetros de diâmetro, muito mais do que as que podem ser encontradas na Terra, mas apenas uma pequena fracção das que podem ser encontradas na Lua e em Mercúrio.

A maior cratera, *Mead*, possui um diâmetro de 270 km, e as mais pequenas possuem diâmetros de cerca de 1,5 km. A ausência de crateras pequenas e o facto de as crateras venusianas aparecerem em grupos, são provavelmente consequência da densa atmosfera de Vénus, que parte os meteoros maiores em fragmentos e queima completamente os mais pequenos. A maior densidade de crateras em Vénus é normalmente encontrada nas planícies. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

O número de crateras de impacto dá-nos uma pista sobre a idade de uma superfície planetária, uma vez que essas crateras se formaram a um ritmo elevado nos primórdios da história do sistema solar e que a frequência dos impactos tem vindo a diminuir desde então. Assim, quanto mais crateras uma superfície planetária possuir, maior será a sua idade.

Desta forma é possível estimar que a idade da superfície de Vénus é cerca de 500 milhões de anos, aproximadamente o dobro da idade da superfície da Terra, mas muito mais jovem que as superfícies da Lua ou de Mercúrio. Surpreendentemente as crateras encontram-se uniformemente espalhadas pela superfície venusiana. Seria de esperar que regiões mais antigas da superfície, estando expostas ao bombardeamento há mais tempo, possuísem mais crateras do que regiões mais jovens.

Na Lua, as antigas terras altas possuem muito mais crateras do que os jovens mares lunares. Como essas variações não se encontram em Vénus, os cientistas concluíram que toda a superfície do planeta possui aproximadamente a mesma idade. Na Terra, pelo contrário, podem ser encontradas formações geológicas de uma vasta gama de idades. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Foram propostas duas hipóteses para explicar a aparente juventude da superfície de Vénus. De acordo com a hipótese proposta por Roger J. Phillips da Universidade de Washington, erupções vulcânicas cobrem as crateras de impacto ao mesmo ritmo a que estas são formadas. Uma vez que se pode observar que o vulcanismo em Vénus encontra-se espalhado, fazendo com que as crateras sejam apagadas a ritmos semelhantes em todo o planeta.

A outra hipótese foi avançada por Gerald G. Schrabner da U.S. Geological Survey e Robert G. Strom da Universidade do Arizona, que propõem que um intenso período de erupções ocorreu em Vénus há várias centenas de milhões de anos. De acordo com esta hipótese, o globo inteiro foi coberto com lava num curto período de tempo, cobrindo antigas crateras de impacto. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Uma versão desta hipótese afirma que o magma em ascensão do manto solidifica na superfície inferior da litosfera venusiana, fazendo com que a cada vez mais espessa litosfera aja como um isolante e aprisione o calor até que o manto se torne quente o suficiente para partir a litosfera. Como resultado temos um vulcanismo espalhado que cobre praticamente todo o planeta com lava. A litosfera em seguida arrefece e endurece, dando início a um novo ciclo.

Se esta hipótese está correcta, significa que a cada ciclo de algumas centenas de milhões de anos, a superfície de Vénus é apagada, não podendo existir rochas muito antigas na superfície venusiana. Em contraste, na Terra, a tectónica de placas apaga a superfície localmente, podendo-se encontrar na superfície rochas com alguns milhares de milhões de anos. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

As intensas erupções propostas por esta hipótese teriam enormes efeitos no clima de Vénus. Estas erupções teriam emitido tremendas quantidades de dióxido de carbono, vapor de água, e dióxido de enxofre. Simulações realizadas por Mark A. Bullock e David J. Grinspoon da Universidade do Colorado sugerem que os gases de estufa libertados, elevaram eventualmente a temperatura da superfície de Vénus a cerca de 100°C acima da temperatura actual.

Temperaturas dessa ordem teriam fundido os materiais sólidos que constituem a superfície de Vénus, explicando certas características que se assemelham a rios, as quais podemos observar hoje na superfície venusiana. As temperaturas atmosféricas também teriam aumentado, fazendo evaporar as nuvens de ácido sulfúrico de Vénus. A atmosfera e a superfície teriam voltado às temperaturas actuais apenas após centenas de milhões de anos. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Apesar de Vénus ser praticamente do tamanho da Terra, a sua superfície e atmosfera evoluíram de forma muito diferente das da Terra. Provavelmente, os dois planetas irão ter o mesmo destino, uma vez que a luminosidade do Sol vai continuar a aumentar à medida que envelhece. Daqui a 3½ mil milhões de anos a luz solar será suficientemente forte para começar a evaporar os oceanos terrestres e a nossa atmosfera irá ocorrer o mesmo tipo de efeito de estufa descontrolado que ocorreu em Vénus.

Com a temperatura constantemente a aumentar, enormes quantidades de dióxido de carbono irão ser libertadas das rochas terrestres, criando uma atmosfera semelhante à atmosfera venusiana. Ao estudarmos Vénus, podemos estar na verdade a vislumbrar o nosso próprio mundo num futuro distante. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

2.4. Interior de Vénus

Compostos sulfurosos constituem menos de uma parte por mil milhões da atmosfera terrestre. Em Vénus os compostos sulfurosos constituem cerca de 0,015% da atmosfera e são os componentes dominantes das nuvens venusianas. A relativa abundância de compostos sulfurosos em Vénus deve-se aparentemente aos gases sulfurosos que são injectados na atmosfera por processos vulcânicos.

Quando a sonda espacial *Pioneer Venus Orbiter* chegou a Vénus em 1978, o espectrómetro de ultravioleta que transportava registou inesperadamente níveis altos de dióxido de enxofre e ácido sulfúrico, que diminuíram regularmente durante os anos seguintes. Uma semelhante abundância em partículas de neblina poderá ter ocorrido no final dos anos 50 do século XX, indicada por observações telescópicas terrestres efectuadas na altura. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Como explicação, Larry W. Esposito da Universidade do Colorado, propôs que no final dos anos 50 e 70 do século XX, erupções vulcânicas haviam injectado dióxido de enxofre na alta atmosfera venusiana. Aparentemente, as nuvens venusianas são renovadas regularmente por vulcões activos.

Esta noção baseia-se na observação de que os vulcões na Terra injectam gases sulfurosos na nossa atmosfera. Durante a erupção de 1980 do monte Santa Helena, por exemplo, os geólogos registaram a emissão de quantidades substanciais de ácido sulfúrico e outros compostos sulfurosos. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Muitas destas substâncias são altamente reactivas e de vida curta, formando compostos sulfatados que se tornam parte das rochas da superfície do planeta. Para estas substâncias serem relativamente abundantes em Vénus, devem ser constantemente renovadas por novas erupções.

De facto, existem vulcões em Vénus que foram vistos pela primeira vez por observações terrestres de radar. Um dos radiotelescópios mais poderosos encontra-se no Arecibo Observatory em Porto Rico. O prato de 305 m é utilizado para transmitir em direcção a Vénus um poderoso e breve feixe de microondas, que penetram facilmente a cobertura de nuvens venusianas e reflectem na superfície do planeta.

Diferentes tipos de terreno reflectem microondas com maior ou menor eficácia, o que permite aos astrónomos construir um mapa da superfície de Vénus pela análise da radiação reflectida. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

As imagens mais detalhadas dos vulcões venusianos provêm da sonda espacial *Magellan*, assim chamada em honra do navegador português Fernão de Magalhães (1480-1521), que entrou em órbita de Vénus em 1990.

A sonda *Magellan* utilizou técnicas sofisticadas de radar para mapear mais de 98% do planeta com uma resolução entre 120 e 300 m. De acordo com esses dados existem mais de 1100 características vulcânicas em Vénus. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Para além de traçar um mapa do planeta por radar, a *Magellan* utilizou um altímetro de radar que reflectiu microondas na superfície venusiana directamente abaixo da sonda espacial. Medindo o atraso das ondas reflectidas, os cientistas puderam determinar a altura e profundidade da superfície venusiana. Com o auxílio de um supercomputador, produziram vistas de perspectiva da superfície venusiana, que possibilitaram um melhor conhecimento do vulcanismo em Vénus.

A maioria dos vulcões venusianos encontra-se provavelmente inactiva, como acontece com a maioria dos vulcões terrestres. No entanto, a sonda *Magellan* encontrou evidências de actividade vulcânica recente, parte da qual poderá continuar a ocorrer actualmente. Para se poder estimar a quantidade de actividade vulcânica recente, é medida a reflectividade de materiais vulcânicos, a qual depende da idade do material.

Traçando um mapa das variações de reflectividade da superfície de Vénus, a sonda *Magellan* encontrou muitas áreas de escoadas de lava recentes. Algum do material mais jovem encapsula o vulcão *Maat Mons*. Os geólogos estimam que este material não tenha mais de 10 milhões de anos, podendo ser ainda mais jovem.

A presença de escoadas de lava tão recentes reforça a ideia de que Vénus, assim como a Terra mas ao contrário da Lua ou de Mercúrio, apresenta actividade vulcânica actual. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (N.A.S.A. Home Page 2006)

Para confirmar a natureza vulcânica da superfície venusiana é necessário visitar a superfície e examinar amostras rochosas. A sonda espacial *Venera 13*, uma das 10 sondas soviéticas que aterraram com sucesso, registou em 1981 imagens da superfície venusiana e efectuou análises químicas ao material da superfície venusiana.

Estas análises indicam que a composição da superfície é semelhante à do basalto, uma rocha vulcânica que é comum na Terra e nos mares lunares. Os resultados da *Venera 13* e de outras sondas espaciais, relevam uma imagem consistente de Vénus como um mundo cuja superfície e atmosfera foram moldadas por actividade vulcânica.

Uma vez que Vénus é praticamente do mesmo tamanho que a Terra, seria de esperar que possuísse muitas das características da Terra, um interior líquido, um campo magnético global gerado pelo movimento do fluido no seu interior, e uma crosta moldada pela tectónica de placas.

No entanto, as sondas espaciais enviadas a Vénus revelaram muitas surpresas, não só sobre a atmosfera, mas também acerca do interior e superfície venusianas. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A presença de vulcanismo em Vénus sugere fortemente que Vénus possui, à semelhança da Terra, um interior líquido. Infelizmente, não existem dados sísmicos para confirmar esta conclusão. Nenhuma das sondas espaciais Venera que aterraram em Vénus possuía sismógrafos. De qualquer forma, os instrumentos transportados por estas sondas funcionaram apenas algumas horas antes de sucumbirem ao hostil ambiente venusiano.

Apesar do seu interior líquido, Vénus não possui um campo magnético global. Uma possível explicação é o longo período de rotação do planeta. Vénus roda tão lentamente que o material fluido no seu interior praticamente não é agitado, podendo não se movimentar de forma a gerar um campo magnético.

No entanto, apesar de não possuir um campo magnético e consequentemente não possuir magnetosfera, o planeta Vénus é protegido do vento solar por iões na sua alta atmosfera. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

2.5. Observação de Vénus

Vénus, conhecido durante séculos como “estrela da manhã” ou “estrela da tarde” é fácil de identificar a olho nú. Este planeta é, a seguir ao Sol e à Lua, o astro mais brilhante em todo o céu, podendo ser visto, ocasionalmente, em pleno dia no céu azul. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Os antigos astrónomos pensavam que as aparições de Vénus como estrela da manhã e estrela da tarde correspondiam a dois planetas diferentes, a estrela da tarde foi chamada *Hesperus* e a estrela da manhã foi chamada *Eosphorus*. Pensa-se que foi Pitágoras de Samos (580 a.C.–500 a.C.), um filósofo e matemático grego, que no século VI antes de Cristo, reconheceu tratar-se de um só corpo celeste. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Vénus pode ser visto consideravelmente afastado do Sol, na sua elongação máxima de cerca de 47° , uma vez que a sua órbita é quase duas vezes maior do que a de Mercúrio. Na sua elongação máxima Este, Vénus é visto como estrela da tarde muito acima do horizonte Oeste, após o pôr-do-sol.

Na sua elongação máxima Oeste é visível como estrela da manhã, porque nasce quase 3 horas antes do nascer do Sol e encontra-se alto no céu a Este de madrugada. Deve ter-se cuidado ao procurar o planeta no céu com um telescópio nesta altura, devido ao perigo de olhar directamente para o Sol, o que poderia causar cegueira imediata no observador.

A sua magnitude varia entre $-3,3$ e $-4,4$ consoante a fase que apresenta e a distância a que se encontra do nosso planeta. Nas alturas em que apresenta o seu maior brilho, Vénus é 16 vezes mais brilhante que *Sírius*, a estrela mais brilhante do céu nocturno.

Existem razões para esse brilho: Vénus é relativamente grande (praticamente do tamanho da Terra), está próximo do Sol e da Terra e tem um albedo de 0,59 reflectindo 59% da luz solar que recebe. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

O globo de Vénus apresenta um diâmetro aparente que varia entre $10''$ e $64''$, conforme a sua distância à Terra. Assim como a Lua, Vénus apresenta fases, observáveis com um pequeno telescópio de 50 ou 60 mm de abertura e uma ampliação da ordem de $40\times$ ou superior. O globo aparece com o maior diâmetro aparente perto do momento em que passa entre a Terra e o Sol (conjunção inferior).

Telescópios maiores e ampliações mais elevadas, entre $80\times$ e $120\times$, facilitam as observações do globo e o acompanhamento da sequência das fases. Nas ocasiões mais favoráveis, pouco antes ou pouco depois da conjunção inferior, o planeta apresenta um fino crescente, observável até com binóculos com ampliações de $10\times$, devido ao seu maior diâmetro aparente. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Através de telescópios terrestres Vénus aparece branco e praticamente sem características, sem continentes ou montanhas. No entanto os astrónomos cedo se aperceberam que não observavam a verdadeira superfície do planeta. Vénus deveria estar coberta com uma espessa e contínua camada de nuvens. Uma camada de nuvens também explicaria porque Vénus reflecte uma fracção tão grande da luz solar que recebe.

Provas da existência de uma atmosfera espessa em Vénus surgiram quando astrónomos do século XIX observaram o planeta próximo da conjunção inferior. Vénus apresentava-se entre a Terra e o Sol, encontrando-se iluminado por trás. A luz do Sol foi espalhada pela atmosfera venusiana, produzindo um anel luminescente à volta do planeta que de outra forma não estaria presente. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Um outro aspecto de Vénus que pode ser observado é um trânsito solar, no qual o planeta passa à frente do disco do Sol em conjunção inferior. Este fenómeno não ocorre a cada conjunção inferior devido ao plano da órbita de Vénus ter uma inclinação de $3,38^\circ$ relativamente à eclíptica (o plano da órbita da Terra). Na verdade, trânsitos solares de Vénus são extremamente raros, tendo os últimos três ocorrido em 1874, 1882 e 2004.

Os trânsitos de Vénus podem ocorrer perto de 7 de Junho ou 8 de Dezembro, durante o nodo ascendente, e normalmente ocorrem aos pares separados por 8 anos, em intervalos de $105\frac{1}{2}$ e $121\frac{1}{2}$ anos. O único par de trânsitos que ocorre no século XXI, a 8 de Junho de 2004 e a 6 de Junho de 2012, são apenas o quinto e sexto trânsitos observados desde que Jeremiah Horrocks (1618-1641), em 1639, realizou pela primeira vez uma observação de um trânsito de Vénus.

O próximo par só irá ocorrer em 2117 e 2125. Mercúrio passa mais frequentemente pelo disco solar porque orbita mais próximo do Sol. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

2.6. Missões a Vénus

Vénus é o planeta que tem sido visitado por um maior número de sondas espaciais. O programa *Mariner*, aprovado pela N.A.S.A. em 1960, foi planeado e executado pelo Jet Propulsion Laboratory (J.P.L.), tendo sido realizado por uma série de sondas espaciais cada vez mais avançadas e capazes. A primeira aproximação a Vénus foi feita em 1962 pela sonda espacial norte-americana *Mariner 2*, a primeira sonda a visitar outro planeta, que conseguiu medir a pressão atmosférica e a temperatura à superfície.

A sonda *Mariner 2* foi lançada a 27 de Agosto de 1962, tendo chegado a Vénus a 22 de Dezembro do mesmo ano. A sonda espacial transportava apenas seis instrumentos científicos, pesando 18 kg. Todos os instrumentos funcionaram como o previsto durante a missão.

A *Mariner 2* mediu a temperatura à superfície de Vénus, tendo obtido o valor de cerca de 425°C, e da temperatura no topo das nuvens, cujo valor foi de -35°C. As outras experiências decorreram continuamente durante a maioria do voo, permitindo a primeira monitorização de longa duração das condições no espaço interplanetário. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (N.A.S.A. Home Page 2006)

A sonda espacial continuou a funcionar sem falhas por mais 21 dias após o encontro com Vénus, tendo operado um total de 130 dias, até 87,4 milhões km da Terra. A *Mariner 2* demonstrou a eficiência do seu design estabilizado por três eixos, a sua capacidade de comunicação com a Terra a longas distâncias com um poder de transmissão de apenas 3 W e a habilidade da Deep Space Network (D.S.N.), uma rede de antenas internacionais, para seguir com precisão a sonda durante o seu voo. A *Mariner 2* foi a missão espacial de maior sucesso até à altura.

O projecto de visitar Vénus com uma sonda espacial *Mariner 4* sobresselente foi autorizado em 1965, tendo a *Mariner 5* sido lançada a 14 de Junho de 1967. Chegou a Vénus a 19 de Outubro, tendo realizado com sucesso sete experiências, um dia após a soviética Venera 4 ter largado na superfície uma cápsula de aterragem que não conseguiu recolher informação.

A *Mariner 5* determinou que o campo magnético de Vénus é muito mais fraco do que o da Terra e demasiado fraco para repelir o vento solar. No entanto, quando o vento solar alcança o topo da atmosfera, é desviado pela ionosfera, fluindo à volta do planeta sem alcançar a superfície venusiana. A sonda *Mariner 5* encontrou grandes quantidades de hidrogénio na alta atmosfera a temperaturas muito baixas, mas não detectou oxigénio. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (N.A.S.A. Home Page 2006)

Obteve perfis de refacção, temperatura, densidade e pressão na atmosfera neutra e de densidade electrónica na ionosfera. Estes dados demonstraram que a temperatura e pressão atmosférica à superfície de Vénus, são respectivamente, de 475°C e de 90 atm. A sonda espacial *Mariner 5* determinou também as massas de Vénus e da Lua com uma maior precisão.

A exploração de Vénus pelos soviéticos começou em 1967 com a sonda espacial *Venera 4*, após três lançamentos falhados, que penetrou a atmosfera venusiana e realizou medições atmosféricas. Pouco depois as sondas *Venera 5* e *6* repetiram as medições atmosféricas. A primeira aterragem com sucesso em Vénus foi conseguida em 1970, por outra sonda espacial soviética, a *Venera 7*. (Windows to the Universe. 2000-04) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A sonda *Mariner 10*, lançada a 3 de Novembro de 1973, passou por Vénus a 5 de Fevereiro de 1974, a caminho de Mercúrio. As câmaras da *Mariner 10* estavam equipadas com dois telescópios *Cassegrain* para obter imagens de alta e baixa resolução, e diferentes filtros rotativos para permitir fotografias em diferentes comprimentos de onda, incluindo o ultravioleta.

A sonda espacial obteve cerca de 3500 imagens de Vénus, tendo conseguido uma cobertura muito detalhada das nuvens de Vénus, tornada possível pela sensibilidade ao ultravioleta das suas câmaras. A carga que a sonda transportava incluía entre outros instrumentos científicos, um telescópio de partículas carregadas, um radiómetro de infravermelhos e dois espectrómetros de ultravioleta. (N.A.S.A. Home Page 2006) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

De todas as sondas *Mariner*, a *Mariner 10* foi a mais complexa e sofisticada. A sua missão foi a primeira a visitar dois planetas e a realizar três visitas ao mesmo planeta. Foi a primeira sonda espacial a enviar fotografias em tempo real em vez de as armazenar. Painéis solares giratórios foram utilizados pela primeira vez para manter a temperatura e gerar energia. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

As primeiras fotografias da superfície venusiana foram obtidas em 1975, pelas sondas espaciais *Venera 9* e *Venera 10*. As sondas *Venera 8*, *9* e *10* transportaram espectrómetros de raios gama, que permitiram as primeiras medições geoquímicas da superfície venusiana. As oito aterragens que os soviéticos conseguiram efectuar nos anos setenta do século XX conseguiram as únicas imagens que temos da superfície venusiana. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Windows to the Universe. 2000-04)

Em 1978 surgiram as missões norte-americanas *Pioneer Venus 1* e 2, sendo a *Pioneer Venus 1* uma sonda que iria ficar em órbita e a *Pioneer Venus 2* consistia em quatro sondas de entrada. As missões foram lançadas do Cabo Canaveral em dois foguetes *Atlas-Centaur*. A *Pioneer Venus 1* foi lançada a 20 de Maio de 1978, seguida pela *Pioneer Venus 2*, lançada a 6 de Agosto do mesmo ano.

A sonda que iria ficar em órbita, a *Pioneer Venus 1*, chegou a Vénus a 4 de Dezembro de 1978, seguida pela *Pioneer Venus 2*, que carregava as sondas de entrada, e chegou a Vénus apenas 4 dias mais tarde. A *Pioneer Venus 2* pôde seguir uma trajectória mais directa e mais rápida, uma vez que a sua velocidade na chegada, relativamente ao planeta Vénus, não era tão crítica.

Muito do nosso actual conhecimento da atmosfera venusiana deriva das medições efectuadas pelas missões *Pioneer Venus*, que também obtiveram os primeiros mapas de radar detalhados da superfície de Vénus. A sonda que permaneceu em órbita, traçou mapas da atmosfera acima das nuvens venusianas em infravermelhos, assim como das nuvens em ultravioleta e luz visível, e a superfície através de radar.

A sonda operou numa órbita extremamente elíptica, investigando a termosfera de Vénus, tendo obtido também os primeiros mapas completos da magnetosfera venusiana. Tendo obtido informação acerca de Vénus por um período de 14 anos, a sonda finalmente entrou na atmosfera venusiana em 1992, tendo sido destruída. A sonda *Pioneer Venus 2* inseriu quatro sondas na atmosfera, que a descreveram até à superfície, onde chumbo e zinco fundiriam. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (N.A.S.A. Home Page 2006)

A missão *Vega*, lançada pelos soviéticos no final de 1984, consistia numa missão dupla, visitar Vénus e o cometa Halley. A missão compunha-se por duas sondas espaciais idênticas *Vega 1* e *Vega 2*, sendo *Vega* um acrónimo para as palavras Vénus e Halley (“Galley” em Russo). O design básico das sondas era o mesmo usado nas sondas soviéticas *Venera 9* e *Venera 10*, que haviam visitado Vénus anteriormente. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

As sondas espaciais *Vega 1* e *Vega 2* foram lançadas por um foguete *Proton 8K82K*, em 15 e 21 de Dezembro de 1984, respectivamente. *Vega 1* chegou a Vénus a 11 de Junho de 1985, e a sonda *Vega 2* chegou a 15 de Junho do mesmo ano, tendo cada uma libertado uma unidade de descida esférica, de 2,4 m de diâmetro e 1500 kg de massa.

As unidades de descida haviam sido libertadas alguns dias antes da chegada a Vénus, entrando na atmosfera venusiana sem mudanças de inclinação. Cada uma continha uma sonda de aterragem e um balão atmosférico.

As missões *Vega 1* e *Vega 2* permitiram as primeiras medições directas das propriedades atmosféricas de Vénus, o primeiro olhar a um núcleo de cometa como objecto espacial, a primeira identificação de alguns dos componentes da atmosfera de um cometa, e o primeiro estudo de um cometa por métodos directos.

A missão *Vega* foi um passo importante no desenvolvimento de cooperação internacional no estudo do espaço. Cientistas e engenheiros de muitos países cooperaram com os russos na criação de instrumentos científicos sofisticados e dos seus sistemas de suporte. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Windows to the Universe. 2000-04)

Originalmente chamada V.O.I.R. (Venus Orbital Imaging Radar), a missão deveria ser lançada no início dos anos oitenta do século XX. Contudo, a missão foi cancelada por razões financeiras, tendo renascido mais tarde com o nome de *Magallean*, em honra do navegador português Fernão de Magalhães (1480-1521).

A nova data de lançamento, em 1984, não pôde no entanto ser mantida devido ao atraso com o programa do vaivém espacial. Eventualmente, a sonda *Magallean* foi lançada a bordo do vaivém espacial *Atlantis*, em Maio de 1989, tornando-se a primeira sonda interplanetária a ser lançada de um vaivém espacial.

Tendo chegado a Vénus em Agosto de 1990, a sonda espacial *Magallean* utilizou técnicas sofisticadas de radar para traçar mapas de mais de 98% do planeta com uma resolução de entre 120 e 300 m. A sonda também recolheu dados de altimetria, tendo revelado mais de 1000 crateras de impacto e 1100 características vulcânicas.

A localização precisa da sonda espacial por rádio permitiu medir o campo gravítico de Vénus. A sonda *Magallean* entrou finalmente na atmosfera venusiana em Outubro de 1994, tendo sido destruída. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (N.A.S.A. Home Page 2006) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

O maior problema para a futura exploração da superfície de Vénus é a sua elevada temperatura, onde o tempo de vida das sondas se tem restringido a menos de uma hora. É necessário desenvolver tecnologia que suporte altas temperaturas para as missões realizadas na superfície venusiana, estações sísmicas, robôs e recolha de amostras. Até essa tecnologia estar disponível, a exploração in loco de Vénus estará limitada às regiões altas e médias da atmosfera. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

2.7. História de Vénus

Sendo um dos objectos mais brilhantes no céu, o planeta Vénus é conhecido desde tempos pré-históricos e tem tido um impacto significativo na cultura humana. É descrito em textos cuneiformes babilónicos, como a tabela de Vénus de *Ammisaduqa*, que relata observações que possivelmente remontam a 1600 a.C. As aparições de Vénus e Mercúrio como estrelas matutinas e vespertinas eram registadas em Diários. Para os babilónios *Ishtar*, o planeta Vénus, era a personificação da feminilidade e a deusa do amor.

Os antigos egípcios acreditavam, ao observar Vénus, ver dois corpos celestes diferentes, *Tioumoutiri* a estrela da manhã, e *Ouaiti* a estrela da tarde. Os antigos astrónomos gregos também acreditavam que as aparições de Vénus como estrela da manhã e estrela da tarde correspondiam a dois planetas diferentes, tendo a estrela da tarde sido chamada *Hesperus* e a estrela da manhã chamada *Eosphorus*. Pensa-se que foi Pitágoras de Samos (580 a.C.–500 a.C.), um filósofo e matemático grego, que no século VI antes de Cristo, reconheceu tratar-se de um só corpo celeste.

Eosphorus que significa “portador de luz” e *Hesperus* que significa “portador do crepúsculo” foram traduzidos para Latim como *Vesper* e *Lúcifer*, respectivamente. Mais tarde os romanos chamaram o planeta de Vénus, em honra à sua deusa do amor, que correspondia à deusa Afrodite dos gregos. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Windows to the Universe. 2000-04) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Os astrónomos Maias possuíam um conhecimento muito preciso do movimento aparente de *Kukulcan*, o planeta Vénus. Sabiam em que dia Vénus voltaria a aparecer novamente a Este, após o planeta ter desaparecido a Oeste. Também tinham conhecimento que a cada 2920 dias, cerca de oito anos, Vénus repetia os seus movimentos em relação ao Sol. Determinaram com grande aproximação o período sinódico de Vénus, que de acordo com os astrónomos actuais é de 583,92 dias, e que para os Maias era de 584 dias. (Windows to the Universe. 2000-04) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Os períodos dos movimentos do Sol e da Lua e as rotações diárias da Terra têm sido as bases naturais para o desenvolvimento de calendários. No entanto, algumas civilizações basearam os seus calendários noutros corpos do Sistema Solar. Os Maias basearam o seu calendário nos movimentos de Vénus.

Os Maias utilizavam um período de 2920 dias que relacionava Vénus e o ano terrestre, uma vez que $8 \times 365 = 2920$ dias, e 5 períodos sinódicos de Vénus, com aproximadamente 584 dias cada, equivalem igualmente a 2920 dias. O planeta Vénus era o patrono da guerra para os Maias, por isso as datas de muitas batalhas estão relacionadas com uma posição chave no ciclo de Vénus. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Tlahuizcalpantecuhli, era uma divindade Azteca, que representava o planeta Vénus e uma aparição de *Quetzalcoatl*, o “pássaro serpente”. *Tlahuizcalpantecuhli* significa “senhor da casa da madrugada”, e era o senhor da décima segunda hora do dia.

Os rituais Aztecas eram realizados quando *Huitzilopochtli*, que representava o Sol, estava numa posição particular no céu em relação à posição de *Tlahuizcalpantecuhli*, o planeta Vénus, e à posição das Plêiades, que para os Aztecas eram *Tianquiztli*, um grupo de estrelas na constelação de Touro. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Windows to the Universe. 2000-04)

O símbolo astronómico do planeta Vénus é o mesmo que é utilizado na biologia para o sexo feminino, uma representação estilizada do espelho de mão da deusa Vénus, que consiste num círculo com uma pequena cruz por baixo. O símbolo de Vénus representa feminilidade, e na antiga alquimia representava o metal cobre. Para os alquimistas, o círculo representava o espírito, acima de uma cruz, que representava a matéria.

Em 1610, Galileu Galilei (1564-1642), um físico, matemático e astrónomo italiano, descobriu com a sua luneta que Vénus possuía fases como a Lua. O ciclo de fases que Vénus apresentava tornou-se o argumento mais forte de Galileu contra o modelo geocêntrico defendido por Aristóteles (384 a.C.–322 a.C.) e Ptolomeu (100-178).

Se Vénus e o Sol orbitassem a Terra, com Vénus abaixo do Sol, o planeta Vénus apresentaria sempre um crescente, visto da Terra. No entanto, se Vénus e a Terra orbitassem o Sol, Vénus deveria apresentar a mesma sequência de fases que apresenta a Lua. Galileu observou exactamente isso: Vénus mostrava um disco cheio quando mais afastado da Terra e um fino crescente quando se encontra mais perto da Terra, passando por um ciclo de fases.

Johannes Kepler (1571-1630), um matemático, astrónomo e astrólogo alemão, formulou as três leis fundamentais da mecânica celeste, conhecidas como leis de Kepler. O astrónomo alemão descobriu que a órbita dos planetas consistia numa elipse com o Sol situado num dos focos.

A órbita de Vénus passou a ser uma elipse em detrimento da órbita circular defendida pelos gregos. Os trânsitos de Mercúrio e Vénus pelo disco solar foram previstos com exactidão pela primeira vez por Kepler, nas suas Tabelas Rudolfinas (em honra ao imperador Rudolf II von Habsburg) de movimentos planetários. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Em 1639, Jeremiah Horrocks (1618-1641) um astrónomo inglês, utilizou as tabelas de Kepler, para realizar a primeira observação de um trânsito de Vénus. John Bevis (1695-1771) um médico e astrónomo amador inglês, foi a única pessoa a ter observado telescopicamente a ocultação de um planeta por outro. Bevis observou a ocultação de Mercúrio por Vénus a 28 de Maio de 1737 e a próxima ocultação será a de Neptuno por Mercúrio em 2067.

Edmond Halley (1656-1742), astrónomo e matemático inglês, mostrou em 1716 como a distância entre a Terra e o Sol poderia ser calculada a partir dos trânsitos (passagens na frente do disco do Sol) de Mercúrio e Vénus.

Mikhail Lomonosov (1711-1765), um químico e astrónomo russo, que observava em 1761 um trânsito de Vénus, numa tentativa para medir a distância da Terra ao Sol, observou um halo à volta do planeta. Lomonosov concluiu que a orla iluminada por trás do disco planetário significava que Vénus possuía atmosfera. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

O principal objectivo da viagem do Capitão James Cook (1728-1779), um navegador inglês, em 1769, durante a qual descobriu e cartografou a costa Este da Austrália, era observar o trânsito de Vénus nos mares do Sul. A medição do tempo que Vénus demorou a transitar o disco solar foi feita por vários observadores em posições geográficas diferentes e permitiu mais tarde estimar, pela primeira vez, um valor para a distância entre a Terra e o Sol: o valor da unidade astronómica obtido por Johann Franz Encke (1791–1865) em 1824, foi de 153 490 000 km, apenas 2,5% acima do valor actual.

Manchas ou marcas no planeta Vénus têm sido observadas desde 1666. Por volta de 1930, medições realizadas no comprimento de onda do ultravioleta detectaram manchas em forma de Y nas nuvens mais altas. Estas características aparecem muito melhor no ultravioleta do que no visível. A primeira identificação de um constituinte atmosférico, o dióxido de carbono, foi realizada em 1932 por espectroscopia. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (N.A.S.A. Home Page 2006)

Medições com comprimentos de onda de rádio, efectuadas no final dos anos cinquenta do século XX, pareciam indicar que as temperaturas à superfície de Vénus eram muito superiores às que se fazem sentir na Terra. Como na altura se acreditava que Vénus e a Terra eram dois planetas muito semelhantes, estes resultados precisavam de ser confirmados.

Assim em 1962, um dos objectivos da primeira nave espacial norte-americana que visitou Vénus, a *Mariner 2*, foi medir a temperatura na superfície venusiana, que revelou ser de 425°C. Vénus é o planeta que tem sido visitado por um maior número de sondas espaciais, contribuindo para uma maior compreensão deste planeta.

A distância da Terra a outro planeta, tendo esse planeta sido Vénus, foi medida pela primeira vez em 1962. A partir deste resultado, o valor da unidade astronómica (U.A.), a distância média entre a Terra e o Sol, foi calculada com muito maior precisão. O efeito de Doppler permitiu que o período de rotação retrógrada de Vénus pudesse ser determinado em 1962, apesar da espessa cobertura de nuvens que o planeta possui. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Estudos das manchas em forma de Y nas nuvens mais altas permitiram descobrir, em 1966, que a atmosfera venusiana no topo das nuvens possui uma rotação de cerca de cinco dias. Por volta de 1967, espectroscopia de infravermelhos realizada a partir da Terra, permitiu a detecção de monóxido de carbono (CO), de ácido clorídrico (HCl) e de ácido fluorídrico (HF), em pequenas quantidades acima das nuvens.

A composição das nuvens venusianas permaneceu desconhecida durante muito tempo mas acreditava-se que seriam constituídas por água, como na Terra. Apenas por volta de 1974, através da análise da polarização da radiação proveniente de Vénus, foi possível inferir que as partículas constituintes das nuvens venusianas são na verdade gotículas de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄). (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Esta conclusão foi mais tarde confirmada por sondas espaciais enviadas ao planeta. Medições realizadas no comprimento de onda do ultravioleta permitiram, em 1979, a detecção de dióxido de enxofre (SO₂).

Carl Sagan (1934-1996), um cientista e astrónomo norte-americano, ajudou a identificar o efeito de estufa descontrolado em Vénus, que produz as altas temperaturas que se fazem sentir na superfície venusiana. Os estudos da atmosfera venusiana que actualmente são feitos, a partir de telescópios terrestres, cobrem todos os comprimentos de onda desde o ultravioleta ao rádio. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

2.8. Dados físicos de Vénus

Distância máxima ao Sol	$1,089 \times 10^8$ km 0,728 U.A.
Distância mínima ao Sol	$1,075 \times 10^8$ km 0,718 U.A.
Distância média ao Sol	$1,082 \times 10^8$ km 0,723 U.A.
Excentricidade da órbita	0,0068
Velocidade orbital média	35,0 km/s
Período de rotação	243,01 dias (r)
Período sideral	224,70 dias
Período sinódico	583,92 dias
Inclinação da órbita em relação ao plano da órbita da Terra	3,39°
Inclinação do equador em relação ao plano da órbita	177,4°
Diâmetro equatorial	12 104 km
Diâmetro equatorial (em diâmetros terrestres)	0,949
Massa	$4,868 \times 10^{24}$ kg
Massa (em massas terrestres)	0,815
Massa volúmica média	5243 kg/m ³
Gravidade à superfície (em gravidades terrestres)	0,91
Velocidade de escape	10,4 km/s
Albedo	0,59
Temperatura média na superfície	460°C
Atmosfera	96,5% CO ₂ 3,5% N ₂ 0,003% H ₂ O
Número de satélites conhecidos	0

Tabela 3 - Dados físicos de Vénus

(Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

(Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

(r) movimento retrógrado

Anexo 3. Terra

3.1. Introdução

Os dados obtidos por meio de satélites artificiais, orbitando em torno do nosso planeta, têm contribuído para um conhecimento mais rigoroso das suas dimensões, superfície e atmosfera. Segundo as melhores determinações actuais, o nosso globo é aproximadamente esférico, com um diâmetro equatorial de 12756,280 km. O diâmetro polar é inferior, medindo menos 21,385 km que o diâmetro equatorial.

Apesar de se dizer frequentemente que o globo terrestre é ligeiramente achatado, o achatamento é muito menor do que por vezes se quer fazer crer, não sendo possível distinguir tal globo de uma esfera. Com uma massa de $5,976 \times 10^{24}$ kg, o nosso planeta tem uma área total de $5,101 \times 10^8$ km², dos quais 70,8 % são ocupados por água. O volume da Terra é de $1,083 \times 10^{12}$ km³. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Conhecemos bem a temperatura ambiente à superfície da Terra. No entanto, por invulgar que pareça, as temperaturas extremas já medidas no nosso planeta foram -88,2°C (Antárctida) e +58°C (África). Apesar do maior rigor que as medições actuais permitem, os aspectos essenciais das características físicas e dinâmicas da Terra já eram conhecidos antes da era espacial.

O movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo, no sentido directo, faz com que todos os outros astros e a própria esfera celeste pareçam rodar de leste para oeste. Porém, não é exactamente igual o aspecto do céu observável, num mesmo instante, de dois lugares situados a norte ou a sul um do outro e bastante afastados entre si.

Para indicar qualquer ponto na superfície terrestre, utiliza-se um sistema de duas coordenadas a que se dá o nome de coordenadas geográficas. Um dos círculos, sobre o qual se marca a longitude, é o equador, linha imaginária que intersecta a Terra perpendicularmente ao seu eixo, dividindo-a em dois hemisférios. Cada linha paralela ao equador, por isso designada paralelo, passa por lugares com a mesma latitude.

O outro círculo será um meridiano, ou seja, uma linha que, passando pelos pólos, cruza o equador perpendicularmente. Tomando como referência o meridiano que passa pelo Observatório de Greenwich, o meridiano de Greenwich ou meridiano principal, o início da contagem da longitude faz-se de oeste para leste a partir do ponto em que esse meridiano cruza o equador.

A longitude de um lugar é o ângulo entre o meridiano de Greenwich e o desse lugar, e mede-se de 0° a 180°, para este ou para oeste. A latitude mede-se também em graus mas de 0° a 90°, para norte e para sul do equador. Observações sucessivas da esfera celeste, em uma determinada noite, e com intervalos de uma ou duas horas, dão claramente a ideia de que todo o céu “rodou” de oriente para ocidente. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

É também possível perceber a amplitude do arco descrito por cada estrela, bem como a sua inclinação relativamente ao horizonte do observador. O movimento aparente da esfera celeste, que tem a duração de um dia, é o resultado do movimento real da Terra sobre si própria, no sentido contrário. O aspecto do céu nocturno observável a uma mesma hora altera-se também com o decorrer das semanas e dos meses.

Todos os lugares situados sobre o mesmo meridiano completam uma rotação no mesmo tempo, 23 h 56 min 4,1 s, cerca de 24 horas. No entanto, o perímetro de um paralelo da Terra decresce com a latitude. Por isso, é diferente a velocidade de cada observador, colocado em latitudes diferentes, sendo de 1670 km/h na região equatorial e 1284 km/h em Lisboa, sendo cada vez menor quanto mais para norte, pois num período igual, o percurso descrito é menor. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Enquanto roda sobre si próprio, o nosso planeta desloca-se no espaço a uma velocidade média de 107 000 km/h. Nesse movimento a distância entre a Terra e o Sol varia entre 147,05 milhões de quilómetros (no periélio) e 152,14 milhões de quilómetros (no afélio). O valor médio desta distância, 149,6 milhões de quilómetros, é denominado de unidade astronómica.

A Terra descreve a sua órbita, completando uma volta em torno do Sol em pouco mais de 365,2 dias, unidade de tempo a que chamamos ano. Devido a esse movimento, parece-nos que o Sol desloca-se relativamente às estrelas em sentido contrário, de oeste para leste, em média cerca de 1° por dia, seguindo uma linha imaginária chamada eclíptica.

Se fosse possível observar o Sol ao mesmo tempo que as outras estrelas, vê-lo-íamos tendo como pano de fundo as estrelas que constituem as doze constelações situadas na faixa do céu por onde o Sol parece deslocar-se ao longo do ano. Essa faixa chama-se zodíaco.

Passado um ano, veríamos o Sol de novo projectado na mesma direcção, o que significa que o aspecto do céu observado ao princípio de uma noite de Outubro só voltará a ser igual, no que se refere às posições das estrelas relativamente ao horizonte, em Outubro do ano seguinte.

A Terra descreve a sua órbita com o eixo permanentemente inclinado (cerca de 66,6°) relativamente ao plano dessa trajectória. Por isso, o equador celeste e a eclíptica não coincidem. O equador celeste é uma linha imaginária que traduz a intercepção do plano equatorial da Terra com a esfera celeste.

A eclíptica é outra linha imaginária, que traduz a intercepção do plano da órbita da Terra com a esfera celeste. Os pontos de intersecção dessas duas linhas imaginárias, designados pontos equinociais, projectam-se em regiões a que correspondem, em geral, estrelas de certas constelações. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

O ponto equinocial de Março, correspondente à posição por onde o Sol passa no início da Primavera no hemisfério norte da Terra, é também chamado ponto vernal, ou primeiro ponto em *Aries* (designação latina de Carneiro). Por outro lado, o ponto equinocial de Setembro, por onde passa o Sol quando começa a estação do Outono na região temperada do norte, é designado ponto outonal ou ponto *Libra* (designação latina de Balança).

No entanto, esses pontos encontram-se actualmente em direcções diferentes, e tal designação continua a ser utilizada, apenas por razões históricas. Na verdade, a Terra possui, entre outros, um terceiro movimento que faz variar a orientação espacial do equador e consequentemente, os pontos de intersecção, na esfera celeste, dessa linha com a eclíptica.

A Terra não é completamente esférica e o seu bojo equatorial não se dispõe no plano da eclíptica, fazem um ângulo de $23^{\circ} 26''$ entre si. Por outro lado, o plano da órbita da Lua está pouco inclinado (5°) relativamente ao plano da órbita da Terra (plano da eclíptica). Nesse plano está o Sol e, aproximadamente, a Lua, astros que exercem forças gravitacionais significativas sobre a Terra, as quais tenderiam a fazer coincidir o plano do equador com o da eclíptica. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

No entanto, devido ao facto de estar permanentemente em rotação, o nosso planeta responde a essa perturbação com um movimento cónico descrito pelo seu eixo. Este movimento cónico, cujo período é de cerca de 26 000 anos, é denominado movimento de precessão. Devido a este movimento, o eixo da Terra vai apontando para diferentes estrelas, descrevendo duas circunferências na esfera celeste, uma a norte e outra a sul, em cada período.

Assim, variando o eixo a sua orientação espacial, e mantendo-se perpendicular ao equador, é inevitável que este varie também a sua posição na esfera celeste. Por isso, os pontos de intersecção do equador celeste com a eclíptica deslizam ao longo desta, para oeste, à razão de $50,26''$ de arco por ano. Este valor, extraordinariamente pequeno, é a razão de, ao longo de uma vida, não nos apercebermos das suas consequências.

Os pontos equinociais movem-se, portanto, no sentido contrário ao da progressão do Sol sobre a eclíptica. Note-se que, por este motivo, o regresso a um dado equinócio ocorre antes de o Sol ter completado 360° sobre a eclíptica, e sobre uma região da esfera celeste que já não é exactamente a mesma. Daí o nome de precessão dos equinócios dado a este fenómeno, que resulta, no fundo, do movimento de precessão da Terra. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

No entanto, com o decorrer dos milhares de anos, os efeitos vão-se acumulando e os resultados tornam-se evidentes: o Sol passa actualmente, em certas épocas, na direcção de estrelas que já não são as mesmas de há dois ou três mil anos e, em particular, os pontos equinociais já não se encontram nas constelações do Carneiro e da Balança, mas sim na direcção das constelações dos Peixes e da Virgem, respectivamente.

Se o eixo da Terra varia a sua orientação espacial, as posições dos pólos celestes também se alterarão. Actualmente, o pólo celeste norte é marcado aproximadamente, pela estrela da extremidade da cauda da Ursa Menor, por isso chamada estrela Polar.

Há 5000 anos, a estrela polar era *Thuban*, da constelação do Dragão e, no ano 14 000, o pólo celeste norte encontrar-se-á muito perto da estrela *Vega* da constelação de Lira. O percurso do pólo norte decorre de forma muito lenta, completando uma volta em cerca de 26 000 anos.

Tendo em conta a longa duração do movimento de precessão, pode afirmar-se que, em cada revolução em torno do Sol, o eixo do nosso planeta não varia praticamente a sua orientação relativamente à esfera celeste. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Na verdade, existem algumas perturbações neste movimento de precessão, sendo a principal provocada pela Lua como resultado da inclinação do plano da sua órbita relativamente à eclíptica. Daí que, em vez de exactamente circular, o percurso dos pólos celestes tenha de ser representado por uma linha ondulada, nem sempre igual em todos os ciclos.

Esta ondulação é consequência de pequenas oscilações do eixo da Terra, relativamente ao círculo de precessão atrás referido. Tais oscilações constituem o movimento de nutação da Terra, cujo período é de cerca de 19 anos. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

3.2. Atmosfera da Terra

A atmosfera terrestre está num estado de perpétua actividade. Sopram ventos em todas as altitudes, com velocidades e direcções que mudam de hora para hora. Água evapora para formar nuvens, voltando posteriormente à superfície terrestre como chuva ou neve. Os efeitos combinados do vento e da água causam a erosão de montanhas e praias.

O Sol é a principal fonte de energia da atmosfera. A superfície terrestre é aquecida pela luz solar, que por sua vez aquece o ar em contacto com a superfície. O ar quente é menos denso do que o ar frio, por isso tende a subir. Enquanto sobe, o ar quente transfere calor para a sua vizinhança.

Como resultado, o ar ascendente arrefece e torna-se mais denso. É então que inicia a sua descida, porque o ar frio sendo mais denso que o ar quente tende a descer. Em contacto com a superfície terrestre é aquecido novamente, e o processo recomeça. Este movimento de subida e descida de um fluido é chamado de convecção, e o padrão geral de circulação é chamado de corrente de convecção ou célula convectiva. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

É a energia solar que fornece energia aos oceanos terrestres. Água quente das regiões perto do equador circula em direcção aos pólos, enquanto a água fria das regiões perto dos pólos circula em direcção ao equador. A energia solar também alimenta a actividade atmosférica evaporando água da superfície. A energia no vapor de água é libertada quando condensa para formar gotículas de água, como as que formam as nuvens.

Em nuvens de trovoadas típicas, cerca de 5×10^8 kg de vapor de água são elevados a grandes altitudes. A quantidade de energia libertada quando esta quantidade de água condensa é semelhante à que uma cidade de 100 000 pessoas utiliza num mês, e num dado instante ocorrem cerca de 2000 trovoadas na superfície terrestre. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Nem toda a energia solar que a Terra recebe do Sol é absorvida, cerca de 39% é reflectida de volta para o espaço por nuvens, neve, gelo e areia. A fracção de luz solar que o planeta reflecte é chamada de *albedo*, do latim brancura, sendo o albedo da Terra de cerca de 0,39.

Outro efeito importante é a emissão de radiação da Terra para o espaço, devido à sua temperatura, de acordo com as leis que descrevem objectos densos aquecidos. Segundo a lei de deslocamento de Wien, o comprimento de onda em que um objecto emite com maior intensidade é inversamente proporcional à sua temperatura. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Como a Terra possui uma temperatura média à superfície de 14°C emite sobretudo em grandes comprimentos de onda, na região do infravermelho do espectro electromagnético. A temperatura também determina a quantidade de radiação que um corpo emite: quanto maior a sua temperatura, mais energia é irradiada.

A temperatura à superfície da Terra é praticamente constante, o que significa que de uma forma geral, não ganha nem perde energia. Assim, o ritmo a que a Terra perde energia deve ser igual ao ritmo com que recebe energia do Sol, não incluindo a energia solar reflectida de volta para o espaço. Como a taxa de emissão de energia depende da temperatura, podemos usar esta condição para calcular a temperatura média a que a superfície terrestre deveria estar.

O resultado é uma temperatura de -27°C , no entanto a temperatura média à superfície terrestre é de 14°C . O planeta Terra encontra-se mais quente do que deveria estar. Esta discrepância é explicada pelo efeito de estufa. Alguns gases na nossa atmosfera, chamados gases de efeito de estufa, entre os quais o vapor de água e o dióxido de carbono, são transparentes para a luz visível mas não para a radiação infravermelha. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Consequentemente, a luz solar visível não tem problemas em entrar na nossa atmosfera e em aquecer a superfície terrestre, mas a radiação infravermelha vinda da superfície aquecida é parcialmente reflectida de volta para a Terra, elevando a temperatura tanto da atmosfera como da superfície. À medida que a superfície e a atmosfera aquecem, ambas emitem mais radiação infravermelha, parte da qual escapa para o espaço.

A temperatura estabiliza quando a quantidade de energia infravermelha que escapa contrabalança a quantidade de energia solar que atinge a superfície. Por essa razão a superfície do nosso planeta é 41°C mais quente do que seria sem o efeito de estufa.

A atmosfera terrestre modificou-se substancialmente durante os 4,56 mil milhões de anos de existência da Terra. Quando o nosso planeta se formou por acreção de planetesimais, provavelmente terão ficado diferentes gases presos no seu interior nas mesmas proporções com que estavam presentes na nébula solar. Como a Terra primitiva não se encontrava suficientemente quente para estar totalmente fundida, a maior parte destes gases foram libertados. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A gravidade da Terra não foi suficientemente forte para impedir que o hidrogénio e o hélio (os elementos químicos mais abundantes no Universo, mas também os mais leves), escapassem para o espaço.

A atmosfera que restou ainda continha quantidades substanciais de hidrogénio, mas na forma de relativamente pesadas moléculas de água (H_2O), criadas da combinação de dois átomos de hidrogénio com um átomo de oxigénio (o terceiro elemento químico mais comum na nossa parte da galáxia). Desta forma, o vapor de água era provavelmente o constituinte mais abundante na atmosfera primordial terrestre.

O vapor de água é um gás de efeito de estufa, captura a radiação infravermelha que radia da superfície, e a sua presença na atmosfera primordial ajudou a manter as altas temperaturas da superfície terrestre. A Terra foi inevitavelmente arrefecendo, o vapor de água na atmosfera condensou em gotículas e caiu na superfície sob forma de chuva, formando oceanos. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

À medida que a atmosfera perdeu vapor de água, o seu contributo para o efeito de estufa diminuiu, o que terá feito a temperatura da superfície terrestre descer ainda mais. Outro factor de arrefecimento foi o facto de nessa altura o nosso jovem Sol possuir apenas 70 % do brilho actual.

Como resultado o nosso planeta deveria ter ficado coberto de gelo. Como o gelo reflecte muito mais a luz solar do que a superfície terrestre, o nosso planeta deveria ter permanecido gelado mesmo com o aumento da luminosidade do Sol ao envelhecer.

A água líquida é essencial para a vida, por isso nunca teria aparecido tal como a conhecemos num planeta gelado. Como os primeiros organismos vivos apareceram 400 milhões de anos após a formação da Terra, o nosso planeta não terá permanecido gelado por muito tempo, se tiver mesmo chegado a gelar. O que salvou o nosso planeta de ter permanecido gelado foi a presença do carbono (o quarto mais abundante elemento químico).

Quando combinado com oxigénio, o carbono forma dióxido de carbono (CO_2), um gás de efeito de estufa que permanece gasoso a temperaturas baixas. O dióxido de carbono terá sido libertado para a atmosfera por actividade vulcânica. Também terá sido adicionado à atmosfera por meteoritos ricos em carbono que colidiram contra a superfície do planeta.

Uma vez na atmosfera terrestre o CO_2 amplificou o efeito de estufa, causando a elevação da temperatura do planeta e a fusão do gelo. Com a temperatura a subir, alguma da água evaporou para a atmosfera, aumentando ainda mais o efeito de estufa. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Na atmosfera actual cerca de uma em cada 2500 moléculas são de dióxido de carbono, mas o CO_2 teria de ter sido milhares de vezes mais abundante na atmosfera primitiva para fundir uma cobertura global de gelo. Ao contrário do hidrogénio e do hélio, este excesso de CO_2 não escapou para o espaço, tendo ficado retido nas rochas da superfície terrestre.

O dióxido de carbono dissolve-se na chuva e cai para os oceanos, onde se combina com outras substâncias para formar uma classe de minerais chamados carbonatos (calcário e mármore são rochas que possuem carbonatos). Estes minerais formam sedimentos no fundo oceânico, que são eventualmente reciclados para a crosta por subducção.

Este processo removeu a maior parte do CO_2 da atmosfera nos primeiros mil milhões de anos após a formação da Terra. Apesar de este processo ter enfraquecido o efeito de estufa, as temperaturas mantiveram-se devido ao aumento do brilho do Sol. As pequenas quantidades de dióxido de carbono que permanecem actualmente na atmosfera resultam do balanço entre a actividade vulcânica e a formação de carbonatos (no entanto, a actividade humana está a perturbar este equilíbrio). (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

O aparecimento da vida na Terra colocou em movimento uma transformação radical da atmosfera terrestre. Os organismos unicelulares primitivos começaram a converter energia solar em energia química utilizando a fotossíntese, um processo químico que consome dióxido de carbono e água, libertando oxigénio. As moléculas de oxigénio (O_2) são muito reactivas, por isso inicialmente a maior parte do oxigénio produzido por fotossíntese combinou-se com outras substâncias para formar compostos químicos chamados óxidos.

Podem ser encontradas evidências desta mudança em formações rochosas de diferentes idades. As rochas mais antigas possuem quantidades muito baixas de óxidos, enquanto rochas que se formaram após o aparecimento de organismos que utilizam fotossíntese possuem grandes quantidades de óxidos.

Mas à medida que a vida proliferou, a quantidade de fotossíntese aumentou drasticamente. Eventualmente, a quantidade de oxigénio a ser produzido tornou-se tão grande que não podia ser todo transformado em óxidos, e o O_2 começou a acumular-se na atmosfera terrestre.

Há cerca de 2 mil milhões de anos atrás, um novo tipo de vida evoluiu para tirar partido do recentemente abundante oxigénio. Estes novos organismos produziam energia consumindo oxigénio e libertando dióxido de carbono, um processo chamado respiração que é utilizado por todos os animais modernos, incluindo os humanos. Estes organismos prosperaram porque plantas fotossintéticas continuaram a adicionar ainda mais oxigénio à atmosfera. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Há várias centenas de milhões de anos, o número de moléculas de oxigénio na atmosfera estabilizou em perto de 21% do total da atmosfera, percentagem que se manteve até à actualidade. Este valor representa um balanço entre a libertação de oxigénio das plantas por fotossíntese e o consumo de oxigénio pela respiração. Assim, a abundância de oxigénio é regulada quase exclusivamente pela presença de vida na Terra.

As moléculas mais numerosas na nossa atmosfera são as de azoto (N_2), que constituem cerca de 78% do total. Estas moléculas também são consequência da presença de vida na Terra. Certas bactérias extraem oxigénio de minerais chamados nitratos, e durante o processo libertam azoto para a atmosfera. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A quantidade de azoto atmosférico é limitada por acção dos relâmpagos. A energia libertada por um relâmpago provoca a combinação do azoto com o oxigénio na atmosfera, formando óxidos de azoto que se dissolvem na água da chuva, caem nos oceanos e formam nitratos.

Se a Terra se tivesse formado um pouco mais perto do Sol, as altas temperaturas que se fariam sentir impediriam que o CO_2 atmosférico se fixasse nas rochas, tornando a atmosfera terrestre muito mais densa e rica em gases de efeito de estufa. Toda a água iria evaporar-se, impossibilitando o aparecimento da vida.

Se a Terra se tivesse formado um pouco mais longe do Sol, as baixas temperaturas que se fariam sentir fixariam todo o CO_2 atmosférico nas rochas, tornando a atmosfera menos densa e pobre em gases de efeito de estufa. Toda a água iria solidificar impossibilitando o aparecimento da vida. Assim, a existência de vida na Terra resulta da posição especial que o nosso planeta ocupa no Sistema Solar. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A vida moldou a composição química da nossa atmosfera mas a estrutura da atmosfera é controlada pela luz solar. A estrutura de qualquer atmosfera pode ser descrita em termos de apenas duas propriedades que variam em altura: temperatura e pressão atmosférica.

A pressão atmosférica a uma dada altitude na atmosfera é causada pelo peso da massa de ar acima dessa altitude. A pressão atmosférica média ao nível do mar é definida como uma atmosfera (1 atm), o equivalente a $1,01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. À medida que se ascende na atmosfera, existe uma massa de ar cada vez menor acima, fazendo com que a pressão atmosférica diminua suavemente com o aumento da altitude. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Ao contrário da pressão atmosférica, a temperatura varia com a altitude de forma complexa. Em algumas camadas da atmosfera a temperatura diminui com o aumento da altitude, mas noutras camadas a temperatura aumenta com o aumento da altitude. Estas diferenças resultam da forma como cada camada é aquecida. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A camada mais baixa é chamada troposfera, estende-se da superfície até uma altitude média de 12 km, e é aquecida apenas indirectamente pela luz do Sol. A luz solar aquece a superfície terrestre, que aquece a parte inferior de troposfera. Por contraste, a parte superior da troposfera permanece a temperaturas mais baixas. Esta variação vertical de temperatura causa correntes de convecção na troposfera. O tempo atmosférico é uma consequência desta convecção.

A diferença de temperatura entre os pólos e o equador terrestres causam um movimento de convecção em grande escala. Se a Terra não rodasse, ar aquecido perto do equador ascenderia e fluiria a altas altitudes em direcção aos pólos. Uma vez nos pólos iria arrefecer e descer para altitudes mais baixas, às quais fluiria de novo para o equador.

No entanto, a rotação da Terra quebra este padrão simples de convecção em várias células de convecção. A estrutura destas células explica porque os ventos prevalecentes a diferentes latitudes sopram em direcções diferentes. Assim, a circulação dominante na nossa atmosfera consiste em seis células de convecção, três situadas no hemisfério norte e outras três situadas no hemisfério sul. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Praticamente todo o oxigénio na troposfera encontra-se na forma de moléculas de oxigénio (O_2), uma molécula elementar diatómica. Mas na estratosfera, uma camada atmosférica que se estende de cerca de 12 a 50 km acima da superfície terrestre, uma quantidade apreciável de oxigénio encontra-se na forma de moléculas de ozono (O_3), uma molécula elementar triatómica.

Ao contrário do O_2 , o ozono é muito eficiente em absorver radiação ultravioleta do Sol, o que significa que a estratosfera pode absorver directamente energia solar. Como resultado, a temperatura aumenta à medida que se ascende na estratosfera. A convecção requer que a temperatura diminua com a altitude, por isso praticamente não existem correntes de convecção na estratosfera. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Acima da estratosfera encontra-se a mesosfera. Muito pouco ozono é encontrado nesta camada atmosférica, o que faz com que radiação ultravioleta solar não seja absorvida e a temperatura atmosférica volte novamente a descer com o aumento da altitude. A temperatura da mesosfera atinge um mínimo de cerca de $-75^{\circ}C$ a uma altitude de cerca de 80 km. Este mínimo marca o início da camada atmosférica mais fina e superior, a termosfera.

Na termosfera a temperatura volta a subir com a altitude, mas isto não se deve à presença de ozono, porque nesta região de baixa densidade o oxigénio e o azoto encontram-se apenas na forma de átomos. Em vez disso, a termosfera é aquecida porque estes átomos isolados absorvem radiação ultravioleta solar de muito curto comprimento de onda, que moléculas de oxigénio e azoto não conseguem absorver. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A altitudes perto dos 300 km, a temperatura da termosfera é de cerca de 1000°C. É a estas altitudes que vaivéns espaciais e satélites orbitam a Terra. No entanto, um satélite não corre o risco de incendiar-se ao mover-se pela termosfera. Isto acontece porque a termosfera é muito menos densa que a atmosfera ao nível do mar (cerca de 10^{-11} da densidade do ar ao nível do mar).

A temperatura alta apenas significa que os átomos na termosfera movem-se muito rapidamente, mas sendo a termosfera tão rarefeita, estes átomos velozes são poucos e espaçados. Desta forma, a termosfera possui muito pouca energia por unidade de volume, e praticamente todo o calor que um satélite em órbita recebe provém da luz solar. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

3.3. Superfície da Terra

Uma das descobertas geológicas mais importantes do século XX foi a constatação de que a crosta terrestre está em constante modificação. Descobrimos que a crosta está dividida em enormes placas litosféricas cujos movimentos produzem tremores de terra, vulcões, montanhas e falhas. Esta visão da crosta terrestre tornou-se a teoria central unificadora da geologia, da mesma forma que a teoria da evolução se tornou o centro da biologia moderna.

Um exame cuidadoso do mapa da Terra sugere a ideia da movimentação de continentes. De uma forma geral, o encaixe entre as massas terrestres dos dois lados do oceano atlântico é bastante espantoso. O continente sul-americano, por exemplo, encaixa perfeitamente no continente africano.

Esta observação inspirou o meteorologista alemão Alfred Lothar Wegener (1880 - 1930) para advogar a deriva dos continentes, a ideia de que os continentes dos dois lados do oceano atlântico simplesmente se afastaram.

Após muita pesquisa, em 1915 Wegener publicou a teoria de que teria existido originalmente um único e gigantesco supercontinente, a que chamou Pangeia (que significa “toda a terra”), que começou a dividir-se e a afastar-se há aproximadamente 200 milhões de anos atrás. Na altura, decorria o início do período Jurássico e os dinossauros eram os animais terrestres dominantes. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Outros geólogos refinaram esta teoria, argumentando que a Pangeia se teria dividido primeiro em dois supercontinentes menores, a que chamaram Laurásia e Gondwana, separados por um oceano a deram o nome de Tétis. Mais tarde, Gondwana dividiu-se nos continentes africano e sul-americano, e Laurásia dividiu-se nos continentes norte-americano e eurásia. De acordo com esta teoria, o mar mediterrâneo é um remanescente do antigo oceano Tétis.

Inicialmente, a maioria dos geólogos ridicularizou a ideia de Wegener. Apesar de ser geralmente aceite que os continentes flutuam no mais denso e plástico manto, poucos geólogos podiam aceitar a ideia que continentes inteiros se podiam mover à volta da Terra a velocidades tão grandes como vários centímetros por ano. Para além disso, os apoiantes da teoria de Wegener não conseguiam explicar que forças poderiam estar a empurrar continentes inteiros.

No entanto, durante a década de 1950, geólogos encontraram evidência de que material é forçado a ascender em direcção à crosta a partir do interior da Terra. Bruce Heezen (1924 – 1977) da Universidade de Columbia e os seus colegas começaram a descobrir longas cadeias de montanhas nos fundos oceânicos, como a dorsal Médio-Atlântica, que se alonga da Islândia à Antárctica. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Na década de 1960, Harry Hess (1906 – 1969) da Universidade de Princeton e Robert Dietz (1914 – 1995) da Universidade da Califórnia, examinaram cuidadosamente o fundo oceânico do Oceano Atlântico. Concluíram que rocha fundida proveniente do manto terrestre é forçada a ascender ao longo do *rifte* da dorsal Médio-Atlântica.

A ascensão de novo material do manto força as placas litosféricas a afastarem-se em sentidos opostos, formando um limite divergente, e causando a expansão do fundo oceânico através da adição de material magmático à crosta.

Ao explicar o que preenche o espaço entre continentes à medida que estes se afastam, a teoria da expansão dos fundos oceânicos ajudou à aceitação da teoria da deriva continental. Devido à expansão dos fundos oceânicos da dorsal Médio-Atlântica, a América do Sul e África afastam-se a uma velocidade de aproximadamente 3 cm por ano. Fazendo o raciocínio contrário, significa que estes dois continentes teriam estado juntos há cerca de 200 milhões de anos atrás, como Wegener sugeriu. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

No início da década de 1960, geólogos começaram a encontrar evidências adicionais que suportavam a existência de enormes placas litosféricas em movimento. Havia nascido a teoria moderna do movimento da crosta, que veio a ser conhecida como tectónica de placas (do Grego *tekton*, que significa construtor).

Actualmente os geólogos sabem que os sismos tendem a ocorrer nas fronteiras entre as placas litosféricas, onde as placas se afastam, colidem ou roçam entre si. As fronteiras das placas litosféricas sobressaem claramente quando os epicentros dos sismos são traçados num mapa.

Mas o que provoca o movimento das placas litosféricas? Esta actividade geológica é alimentada pelo calor proveniente do interior da Terra. O calor que flui do quente núcleo terrestre para a fria crosta, e o calor que flui através do manto por convecção.

O planeta Terra formou-se por colisões entre planetesimais, cujas colisões aqueceram a massa que deu origem à Terra, encontrando-se o seu interior quente até à actualidade. Uma fonte adicional de calor é o decaimento radioactivo de elementos como o urânio e o tório, no interior terrestre. O calor que flui do interior terrestre para a superfície é minúsculo, apenas 1/6000 da energia que recebe do Sol, mas tem um profundo efeito na superfície do nosso planeta. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Os níveis superiores do manto que são suficientemente quentes e moles para permitir uma fluidez plástica são chamados de astenosfera (do Grego *asthenia*, que significa fraqueza). Por cima da astenosfera encontra-se uma camada rígida, chamada litosfera (do Grego *lithos*, que significa pedra).

A litosfera está dividida em placas que se movem devido às correntes de convecção da astenosfera. A crosta é simplesmente a camada superior da litosfera, com uma composição química ligeiramente diferente das regiões inferiores.

Rocha fundida ascende ao longo de *riftes* oceânicos onde as placas litosféricas estão a separar-se. Nas regiões onde as placas litosféricas colidem, material de uma das placas afunda de novo no manto ao longo de uma zona de subducção. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

As maiores zonas de subducção encontram-se no Oceano Pacífico, ao largo da costa Oeste da América do Sul e América do Norte. A placa litosférica de Nazca, situada à esquerda da América do Sul, ao lado dos Andes, está a ser subductada para o manto debaixo da placa sul-americana, à velocidade de 10 centímetros por ano.

À medida que material da placa litosférica subducta, puxa o resto da placa consigo, ajudando assim a manter as placas litosféricas em movimento. Novo material do manto é adicionado à crosta nos *riftes* oceânicos e é reciclado de volta para o manto nas zonas de subducção. Desta forma, a quantidade total de crosta permanece essencialmente a mesma.

As fronteiras entre placas litosféricas são locais de importante actividade geológica no nosso planeta. Grandes cordilheiras de montanhas, como a Cordilheira das Cascatas e a Serra Nevada, situadas ao longo da costa oeste norte-americana e a cordilheira dos Andes, situada ao longo da costa oeste sul-americana, foram empurradas para cima pela colisão que continua a ocorrer entre a placa continental e o fundo oceânico.

Zonas de subducção, onde velha crosta retorna ao manto, são geralmente locais de profundas fossas oceânicas, como a Fossa das Marianas, na fronteira convergente entre as placas tectónicas do Pacífico e das Filipinas. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A tectónica de placas também ajuda a explicar a geologia à escala de rochas e minerais individuais. Estes são constituídos por elementos químicos, mas elementos químicos individuais raramente são encontrados num estado puro. As excepções incluem os diamantes e as pepitas de ouro, prata e cobre.

Mais comuns são os minerais constituídos por uma particular combinação de elementos químicos. Um exemplo é o feldspato, um material cristalino constituído de átomos de potássio, alumínio, silício e oxigénio.

Tanto o diamante como feldspato são minerais. Mas as rochas sólidas compostas por um ou mais minerais são muito mais comuns. Por exemplo, o granito contém mica, feldspato e quartzo (que contém silício e oxigénio, e é o mineral mais abundante na superfície terrestre). (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Os processos geológicos criam três grandes categorias de rochas. As rochas ígneas formam-se quando minerais arrefecem de um estado fundido. A rocha fundida é chamada de magma quando se encontra debaixo da superfície e lava quando flui para a superfície terrestre, como acontece numa erupção vulcânica.

O magma ao solidificar, dependendo das condições principalmente de pressão e temperatura, pode originar uma grande variedade de rochas, que se dividem também em três grandes grupos: rochas ígneas plutónicas ou intrusivas; rochas ígneas vulcânicas ou extrusivas; e rochas filonianas ou hipoabissais. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

O fundo oceânico é constituído predominantemente por um tipo de rocha ígnea chamada basalto. O que seria de esperar de um fundo oceânico produzido por material em ascensão do manto, como é previsto pela teoria da expansão do fundo oceânico. As rochas sedimentares são produzidas pela deposição de sedimentos por acção do vento, água ou gelo.

Por exemplo, os ventos podem empilhar camada em cima de camada de grãos de areia. Outros minerais presentes entre a areia podem cimentar gradualmente os grãos de areia produzindo um arenito. Minerais que precipitam da água dos oceanos podem cobrir o fundo oceânico com camadas de uma rocha sedimentária chamada calcário. O movimento da tectónica de placas pode transportar estas rochas para locais longínquos do local onde foram formadas.

Por vezes rochas ígneas ou sedimentares são enterradas muito abaixo da superfície, onde são sujeitas a altas pressões e temperaturas. Estas condições severas modificam a estrutura das rochas, produzindo rochas metamórficas. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A presença de rochas metamórficas na superfície da Terra revela-nos que a actividade tectónica por vezes levanta material das profundezas da crosta, o que pode ocorrer quando duas placas litosféricas colidem. As fronteiras de placas convergentes são empurradas para cima, formando uma nova cadeia de montanhas, e rochas metamórficas que estavam enterradas são trazidas para a superfície.

A teoria da tectónica de placas também lança luz na geologia de larga escala. Recentemente, geólogos descobriram evidências que apontam para uma sucessão inteira de supercontinentes que anteriormente se terão dividido e voltado mais tarde a unir.

A Pangeia é apenas o mais recente supercontinente neste ciclo, que se repete a cada 500 milhões de anos. Como resultado, episódios intensos de criação de montanhas ocorreram na história geológica da Terra com intervalos de aproximadamente 500 milhões de anos. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Aparentemente, um supercontinente causa a sua própria destruição porque bloqueia o fluxo de calor do interior da Terra. Assim que um supercontinente se forma, a temperatura por baixo começa a aumentar. À medida que o calor acumula, a litosfera deforma-se para cima formando uma cúpula e quebra. Rocha fundida da astenosfera sobreaquecida ascende para preencher as fracturas resultantes, que continuam a alargar à medida que pedaços do supercontinente em fragmentação se afastam.

Para o calor aprisionado debaixo de um supercontinente escapar pode levar muito tempo. Apesar da Pangeia se ter fragmentado há mais de 200 milhões de anos atrás, o manto debaixo da sua localização anterior ainda está quente e a tentar ascender. Como resultado, o continente africano, que se encontra perto do centro desta massa de material ascendente, está várias dezenas de metros mais elevado do que os outros continentes.

As mudanças levadas a cabo pela tectónica de placas são muito lentas comparadas com a escala do tempo de uma vida humana, mas são muito rápidas quando comparadas com a idade da Terra. Por exemplo, o período no qual a Pangeia se dividiu na Laurásia e Gondwana representa apenas cerca de 0,4 % da idade da Terra de $4,56 \times 10^9$ anos.

Colocando noutra perspectiva, 0,4% do tempo de uma vida humana corresponde a cerca de 4 meses. A aparentemente permanente superfície terrestre, na verdade está em constante mudança. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

3.4. Interior da Terra

O tipo de rochas encontradas perto da superfície terrestre fornece evidências importantes sobre o interior do nosso planeta. A densidade das rochas da superfície é cerca de 3000 kg/m^3 , mas a densidade média do planeta Terra (ou seja, a sua massa dividida pelo seu volume) é de 5515 kg/m^3 . O interior da Terra deve ser composto por substâncias muito mais densas do que as encontradas perto da superfície. Mas que substâncias?

O ferro é um bom candidato para a substância que constitui a maior parte do interior da Terra, e isto por duas razões: os átomos de ferro são muito maciços (um átomo de ferro possui uma massa cerca de 56 vezes maior do que a massa de um átomo de hidrogénio), e o ferro é relativamente abundante (é o sétimo elemento químico mais abundante na nossa parte da galáxia).

Outros átomos como o chumbo e o urânio são elementos químicos mais maciços, mas são também mais raros, não existindo em quantidade suficiente na nébula solar para criar o denso interior terrestre. Para além dessas razões, o ferro é comum nos meteoróides que atingem a superfície terrestre, sugerindo que este elemento químico era abundante nos planetesimais que formaram a Terra. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

O nosso planeta certamente encontrava-se totalmente fundido pouco após a sua formação, à cerca de $4,56 \times 10^9$ anos atrás. A energia libertada pelos impactos violentos de numerosos meteoróides e asteróides, e o decaimento de isótopos radioactivos terá fundido o material sólido agregado de planetesimais anteriores. A gravidade fez com que o denso e abundante ferro afundasse em direcção ao centro da Terra, forçando materiais menos densos a subir.

O resultado foi um planeta com uma estrutura em camadas, possuindo um núcleo central composto sobretudo de ferro puro, rodeado por um manto de densos minerais ricos em ferro. O manto encontra-se rodeado por uma fina crosta de relativamente leves minerais ricos em silício.

O desafio coloca-se em testar este modelo de estrutura em camadas quando o interior da Terra é tão inacessível como as mais distantes galáxias no espaço. As perfurações mais profundas atingem apenas alguns quilómetros, penetrando pouco a superfície do nosso planeta. Apesar destas dificuldades, os geólogos conseguem obter dados acerca do interior da Terra através do estudo de tremores de terra e das ondas sísmicas que estes produzem.

Com o passar dos séculos, acumulam-se tensões na crosta terrestre. Ocasionalmente essas tensões são libertadas com um movimento repentino chamado tremor de terra ou sismo. A maioria dos sismos ocorre a grandes profundidades na crosta terrestre. O ponto na superfície terrestre directamente acima da localização do tremor de terra é chamado de epicentro. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Os tremores de terra produzem três tipos de ondas sísmicas, viajam à volta ou através da Terra de formas e a velocidades diferentes. Os geólogos utilizam instrumentos sensíveis chamados sismógrafos para detectar e gravar estes movimentos vibratórios. O primeiro tipo de onda, que é análogo às ondas nos oceanos, causa o movimento que se sente à volta do epicentro. São chamadas de ondas de superfície porque viajam apenas sobre a superfície terrestre.

Os outros dois tipos de ondas, chamadas ondas P (primárias) e ondas S (secundárias), viajam pelo interior da Terra. As ondas P são também chamadas ondas longitudinais porque as suas oscilações são paralelas à direcção do movimento da onda, como uma onda sonora ou como uma mola que é alternadamente empurrada e puxada. As ondas S são também chamadas de ondas transversais porque as suas vibrações são perpendiculares à direcção em que as ondas se movem. As ondas S são análogas às ondas produzidas por uma corda que é abanada numa ponta, alternadamente para cima e para baixo. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

O que torna as ondas sísmicas úteis para o estudo do interior da Terra é que estas não viajam em linhas rectas. As suas trajectórias através da Terra são desviadas devido à variação de densidade e composição do interior terrestre. Da mesma forma que as ondas luminosas curvam, ou refractam, quando passam do ar para o vidro ou vice-versa, as ondas sísmicas refractam quando atravessam diferentes partes do interior do nosso planeta. Estudando como as trajectórias das ondas sísmicas são desviadas, os geólogos podem mapear a estrutura interna da Terra.

Uma importante observação sobre as ondas sísmicas está relacionada com as diferenças entre ondas S e P. Quando um sismo ocorre, sismógrafos relativamente perto do epicentro registam tanto as ondas S como as ondas P, mas sismógrafos no lado oposto da Terra apenas registam ondas P.

A ausência de ondas S foi primeiro explicada em 1906 pelo geólogo britânico Richard Dixon Oldham (1858 – 1936), que notou que vibrações transversais como as ondas S não viajam grandes distâncias através de fluidos. Oldham concluiu que o nosso planeta teria um núcleo fundido.

Para além disso, existe uma região em que as ondas S e as ondas P de um sismo não conseguem ser detectadas. Esta zona de sombra resulta da forma como as ondas P são refractadas na fronteira entre o manto sólido e o núcleo fundido. Através de medições do tamanho da zona de sombra dos sismos, os geólogos concluíram que o raio do núcleo fundido é cerca de 3500 km, cerca de 55 % do raio total do nosso planeta e perto do dobro do raio total da Lua (1738 km). (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

À medida que a qualidade e sensibilidade dos sismógrafos melhorou, os geólogos foram descobrindo vestígios de ondas P na zona de sombra dos sismos. Em 1936, a sismóloga dinamarquesa Inge Lehmann (1888 – 1992) explicou que algumas das ondas P que atravessam a Terra são deflectidas para a zona de sombra por um pequeno e sólido núcleo interior localizado no centro do nosso planeta. O raio deste núcleo interior sólido é de cerca de 1300 km.

O interior do nosso planeta possui uma estrutura curiosa, um núcleo exterior líquido entre um núcleo interior sólido e um manto sólido. Para entender a razão desta estrutura, devemos perceber como a temperatura e a pressão no interior da Terra afectam o ponto de fusão dos materiais rochosos. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Tanto a temperatura como a pressão aumentam com a profundidade. A temperatura do interior da Terra aumenta de cerca de 14°C na superfície para cerca de 5000°C no centro do nosso planeta. A crosta terrestre, a camada mais exterior da Terra, possui apenas entre 5 e 35 km de espessura. É composta por rochas cujo ponto de fusão, ou temperatura a que a rocha passa do estado sólido para o estado líquido, é muito superior às temperaturas que se encontram na crosta terrestre, o que implica que a crosta seja sólida.

O manto terrestre, que se estende até uma profundidade de cerca de 2900 km, é composto sobretudo por substâncias ricas em ferro e magnésio. Na superfície terrestre, amostras destas substâncias possuem pontos de fusão ligeiramente acima dos 1000°C. No entanto, o ponto de fusão de uma substância depende da pressão a que esta está sujeita e quanto maior a pressão, maior o ponto de fusão.

As temperaturas que se fazem sentir no manto terrestre são menores que o ponto de fusão de todas as substâncias de que o manto é composto. Assim, o manto terrestre é considerado como sendo sólido. No entanto, junto à superfície terrestre o manto superior (astenosfera) consegue fluir lentamente e é considerado como sendo plástico, comportando-se como um fluido de alta viscosidade.

Na fronteira entre o manto e o núcleo externo, existe uma mudança abrupta na composição química, de materiais ricos em ferro para ferro praticamente puro com uma pequena mistura de níquel. Como este ferro praticamente puro possui um ponto de fusão mais baixo do que os materiais ricos em ferro, de profundidades de 2900 a 5100 km o núcleo terrestre é líquido. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

A profundidades superiores a 5100 km, a pressão é superior a 10^{11} N/m². Este valor é cerca de 10^6 vezes maior do que a pressão atmosférica normal. Como o ponto de fusão da mistura de ferro e níquel sob esta pressão é superior às temperaturas que se fazem sentir a essas profundidades, o núcleo interno da Terra é sólido.

Desde a década de 1980 que se têm acumulado evidências de que o núcleo interno terrestre é constituído por um único cristal de ferro, ou seja átomos de ferro organizados num padrão tridimensional bem definido, que se repete no espaço, formando uma estrutura com uma geometria específica.

Se esta hipótese se provar verdadeira trata-se do maior objecto cristalino conhecido no sistema solar. Para além disso, existem indícios de que o núcleo interno possui uma rotação ligeiramente mais rápida do que o resto do planeta Terra. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

O campo magnético terrestre reforça a ideia de que o interior do nosso planeta se encontra parcialmente fundido. Este campo magnético é produzido pelo movimento de material rico em ferro no núcleo externo líquido. Como este material é um bom condutor de electricidade, o seu movimento gera um campo magnético num mecanismo chamado dínamo.

A fonte de energia que alimenta a tectónica de placas é também responsável pelo dínamo terrestre. É libertada energia quando material do núcleo externo líquido arrefece e solidifica no núcleo interno sólido. Esta libertação de energia agita os movimentos do núcleo externo líquido.

Apesar de existirem movimentos de fluidos no manto, não produzem um campo magnético apreciável: as rochas silicatadas que formam o manto são más condutoras de electricidade, e os seus movimentos são um milhão de vezes mais lentos do que os do núcleo externo. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Estudos de rochas antigas reforçam a ideia de que o magnetismo do nosso planeta é devido a material fluido em movimento. Quando lava contendo ferro arrefece e solidifica, formando rochas ígneas, magnetiza-se na direcção do campo magnético terrestre.

Analizando amostras de rochas ígneas de diferentes idades do mundo inteiro, os geólogos descobriram que o campo magnético terrestre inverte de direcção num intervalo irregular que pode ir das dezenas de milhares de anos às centenas de milhares de anos.

Por exemplo, lava que solidificou há 30 000 anos está magnetizada na direcção oposta da lava que solidificou recentemente. O que significa que há 30 000 anos a agulha de uma bússola teria apontado para o pólo sul. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Se o planeta Terra fosse um íman permanente, o seu campo magnético não inverteria espontaneamente de direcção. Mas simulações por computador mostram que campos produzidos por fluidos em movimento no núcleo externo terrestre podem de facto mudar de direcção periodicamente.

O campo magnético terrestre interage fortemente com partículas carregadas provenientes do Sol. Este vento solar é um fluxo de principalmente protões e electrões, que é emitido constantemente para fora da coroa solar. Perto da Terra, as partículas no vento solar movem-se a aproximadamente 450 km/s.

Como esta velocidade é consideravelmente superior à velocidade a que as ondas sonoras conseguem viajar no gás rarefeito que existe entre planetas, diz-se que o vento solar é supersónico. Como o gás entre os planetas é tão rarefeito, as ondas sonoras interplanetárias não transportam energia suficiente para serem ouvidas pelos astronautas.

Se a Terra não possuísse campo magnético, estaríamos continuamente a ser bombardeados pelo vento solar. Mas a Terra possui um campo magnético, e as forças que este campo exerce nas partículas carregadas são suficientemente fortes para as desviar do nosso planeta.

A região do espaço à volta da Terra em que o movimento de partículas carregadas é dominado pelo campo magnético do planeta é chamada magnetosfera. A magnetosfera terrestre foi descoberta no final da década de 1950 pelos primeiros satélites colocados em órbita. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Quando as partículas supersónicas no vento solar encontram o campo magnético terrestre, abrandam abruptamente para velocidades subsónicas. A fronteira onde esta diminuição repentina em velocidade ocorre é chamada onda de choque.

Mais perto da Terra existe outra fronteira, chamada magnetopausa, onde a pressão magnética do campo magnético terrestre é contrabalançada pela pressão do vento solar incidente. A maior parte das partículas do vento solar são deflectidas à volta da magnetopausa, assim como a água é deflectida para ambos os lados da proa de um barco.

No entanto, algumas partículas carregadas do vento solar conseguem atravessar a magnetopausa. Quando o fazem, são capturadas pelo campo magnético terrestre em dois enormes anéis que existem à volta da Terra, chamados Cinturões de Van Allen.

Estes cinturões foram descobertos em 1958 durante o voo do primeiro satélite norte-americano a orbitar com sucesso a Terra. Foram nomeados em honra ao físico James Van Allen (1914 – 2006), que insistiu que o satélite transportasse um contador Geiger para detectar partículas carregadas. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

O cinturão interior de Van Allen, que se estende entre altitudes de cerca de 2000 a 5000 km, contém sobretudo prótons. O cinturão exterior de Van Allen, com uma espessura de cerca de 6000 km, está situado a uma altitude de cerca de 16 000 km acima da superfície terrestre e contém sobretudo electrões.

Por vezes a magnetosfera fica sobrecarregada com partículas. As partículas atravessam então o campo magnético nos seus pontos mais fracos e descem em cascata para a alta atmosfera, normalmente num padrão em forma de anel. Quando estas partículas carregadas colidem a altas velocidades com átomos na alta atmosfera, excitam os átomos para níveis de energia superiores.

Os átomos emitem então luz visível quando regressam ao seu estado fundamental, como os átomos excitados do gás de uma lâmpada de néon. O resultado é um espantoso espectáculo luminoso observado nos céus nocturnos em regiões próximas de zonas polares, chamado aurora. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Em latitudes do hemisfério norte é chamada aurora boreal, nome baptizado por Galileu Galilei (1564 - 1642), em referência à deusa romana do amanhecer Aurora e ao seu filho Bóreas, representante dos ventos do norte. Em latitudes do hemisfério sul é chamada aurora austral, nome baptizado por James Cook (1728 - 1779), em uma referência ao facto de a observar no Sul.

As auroras podem ser observadas tanto da superfície terrestre como em órbita da Terra. Este fenómeno não é exclusivo da Terra, sendo também observável em outros planetas do sistema solar como Júpiter, Saturno, Marte e Vénus. O fenómeno também pode ser reproduzido artificialmente com explosões nucleares ou em laboratório.

Ocasionalmente, um evento violento na superfície do Sol, uma ejeção de massa da coroa solar, envia um fluxo de prótons e electrões em direcção à Terra. A aurora resultante pode ser excepcionalmente brilhante e muitas vezes é visível de uma grande variedade de latitudes. Estes eventos perturbam transmissões de rádio e podem danificar satélites de comunicações e linhas de transmissão.

É espantoso como a magnetosfera terrestre, incluindo os seus vastos cinturões de partículas carregadas, eram inteiramente desconhecidos até há poucas décadas. Estas descobertas lembram-nos quão pouco verdadeiramente entendemos e quanto falta ainda aprender acerca do nosso próprio planeta. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

3.5. Satélite da Terra

Para além da própria Terra, o mundo mais familiar no sistema solar é a Lua. Encontra-se tão perto da Terra que é possível observar algumas das características da sua superfície a olho nu. No entanto, é dramaticamente diferente do nosso planeta, não possui uma atmosfera substancial, não tem um campo magnético global e também não possui água líquida. Na Lua o céu é sempre preto e a superfície lunar permaneceu essencialmente inalterada por milhares de milhões de anos.

A Lua realiza vários movimentos, dos quais se destacam o de translação (em volta da Terra) e o de rotação (sobre si própria). Estes movimentos realizam-se no sentido directo, que é o mesmo sentido em que os planetas orbitam em torno do Sol, do ponto de vista de um observador situado no hemisfério norte.

No seu movimento de translação, a Lua descreve uma órbita elíptica em torno da Terra. A distância entre a Lua e a Terra varia entre 356 400 km, na posição mais próxima (chamada perigeu), e 406 700 km, na posição mais afastada (apogeu). A excentricidade da órbita lunar é muito pequena, apenas 0,055. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Este movimento de translação demora 27,3 dias, tempo durante o qual a Lua completa uma volta em torno da Terra e retoma a sua posição aparente relativamente às estrelas. Durante esse mesmo tempo, a Lua efectua uma rotação sobre si própria. Por isso, o nosso satélite volta para nós sempre a mesma face. No entanto, a partir da Terra, podemos ver mais de metade da superfície lunar, isto porque a Lua aparenta oscilar ligeiramente no decurso da sua órbita.

Esta oscilação periódica aparente é chamada libração e deve-se à forma elíptica da órbita da Lua. De facto, a Lua não se move sempre com a mesma velocidade: é mais rápida quando passa mais próximo da Terra e mais lenta quando se afasta. Como o movimento de rotação da Lua é uniforme em torno do seu eixo, podemos ver, enquanto o movimento de translação se realiza, um pouco mais da sua superfície, para oeste ou para leste (libração em longitude). (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Durante 1/4 do período de translação (sideral), após passar pelo perigeu, a Lua descreve mais de 90° na sua órbita, embora gire 90° sobre si própria (durante esse mesmo tempo), o que permite ver, ao observador terrestre, uma parte adicional da sua superfície, para oeste. No apogeu, voltar-se-á a ver a mesma superfície que tinha sido vista no perigeu.

Após o apogeu, durante 1/4 do seu período de translação, a Lua descreve menos de 90° na sua órbita (porque está mais longe da Terra), embora gire 90° sobre si própria, o que nos dá oportunidade de ver, adicionalmente, uma parte da sua superfície, para leste. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Acontece também que o eixo de rotação da Lua não é perpendicular ao plano da sua órbita (inclinação média de $83,3^\circ$); por isso podemos ver, em cada translação, um pouco mais da sua superfície, para norte ou para sul (libração em latitude). Devido ao efeito combinado das duas librações, um observador terrestre poderá ver aproximadamente 59% da superfície lunar. No entanto, em dado momento, só pode ver metade da superfície lunar, como é óbvio.

Comparada com as distâncias entre planetas, que são medidas em dezenas ou centenas de milhões de quilómetros, a distância média da Terra à Lua é apenas 384 400 km. Apesar da sua proximidade, a Lua tem um diâmetro angular de apenas meio grau, o que significa que se trata de um mundo pequeno.

Mas o nosso satélite natural é um caso notável no Sistema Solar. De facto, os satélites (ou luas) têm tipicamente diâmetros muito inferiores aos dos correspondentes planetas (menos de $1/20$). No entanto, a nossa Lua possui um diâmetro de 3476 km, cerca de $1/4$ do diâmetro da Terra, pelo que é um satélite invulgarmente grande, quando comparado com o nosso planeta. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Esta circunstância tem despertado bastante interesse e foram propostas três teorias para tentar explicar a origem e a evolução do nosso satélite natural. Segundo uma dessas teorias, a Lua ter-se-ia formado a partir da mesma nuvem de gás que originou o Sol e os planetas.

Outra teoria afirma que a Lua foi um corpo celeste independente que passou próximo da Terra e foi por ela capturado, tornando-se assim seu satélite. De acordo com a terceira teoria, a Lua é parte do nosso planeta que se separou dele devido à força centrífuga associada à rotação terrestre (que no passado teria sido bastante mais rápida que actualmente).

Pensou-se que as missões tripuladas e os veículos automáticos enviados para a Lua nos dariam informações capazes de contribuir decisivamente para a confirmação de uma das três hipóteses referidas.

De facto, o material do solo lunar trazido para a Terra, nas missões *Apollo* e *Luna*, revelou alguma semelhança na composição destes dois astros. No entanto, também verificaram-se diferenças suficientemente importantes para levarem a admitir uma quarta hipótese, e a mais popular actualmente.

Um corpo do tamanho de Marte colidiu com a Terra, há cerca de 4600 milhões de anos, uma mistura do material ejectado destes dois corpos espalhou-se em órbita da Terra e depois agregou-se para formar a Lua. Esse processo teria demorado cerca de 1 ano.

O valor 4600 milhões de anos corresponde à idade atribuída à Terra e à Lua, de acordo com vários métodos de datação, que têm apresentado resultados concordantes entre si. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Dado que a massa da Lua é relativamente pequena (cerca de 1,2% da massa do nosso planeta) a gravidade à sua superfície, que é apenas de $1/6$ da que se faz sentir à superfície da Terra, (o peso de um objecto na superfície da Lua é cerca de $1/6$ do peso do mesmo objecto na superfície da Terra) não foi suficiente para que o nosso satélite mantivesse a sua atmosfera inicial, tendo-se escapado para o espaço.

A ausência de uma atmosfera lunar substancial é facilmente evidenciada pelo facto de quando a Lua oculta uma estrela, o que é frequente, vemos que a estrela mantém o seu brilho, até deixar bruscamente de ser vista (utilizando um pequeno telescópio). Se a Lua tivesse atmosfera, o brilho da estrela seria atenuado gradualmente, à medida que a estrela se fosse aproximando do limbo lunar, o contorno do globo da Lua.

Na ausência de atmosfera que filtre os raios solares e mantenha o calor, a superfície lunar está exposta a grandes amplitudes térmicas diárias. Ao meio-dia, no solo lunar, a temperatura atinge 120°C . À noite, privada de atmosfera que retenha o calor, a temperatura cai rapidamente, atingindo -150°C . (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Como não existe uma atmosfera que espalhe os raios solares, o céu diurno na Lua é tão preto como o céu nocturno na Terra. A ausência de uma atmosfera significa que a Lua não pode ter água líquida na sua superfície.

Na Terra, as moléculas de água são mantidas no estado líquido pela pressão da atmosfera. Na Lua a pressão atmosférica é essencialmente zero e a temperatura de ebulição é mais baixa que a temperatura da superfície lunar. Nestas condições, a água apenas pode existir como um sólido ou como um vapor.

Ao contrário do que muitas pessoas acreditam, se um astronauta se aventurar na superfície lunar sem um fato espacial, a ausência de atmosfera não faria com que o seu sangue fervesse. A pele humana é suficientemente forte para conter os fluidos corporais. Da mesma forma, se colocarmos uma laranja num recipiente selado e removermos todo o ar, a laranja retém todos os seus fluidos e não explode (e continua a ter o mesmo sabor).

Os astronautas usam fatos espaciais pressurizados na Lua para terem oxigénio para respirar, regular a temperatura corporal, e proteger contra a radiação ultravioleta do Sol. Uma vez que a Lua não possui atmosfera e, assim sendo não tem camada de ozono, um astronauta desprotegido sofreria uma queimadura solar após apenas 10 segundos de exposição.

Não havendo ventos nem chuvas (dada a inexistência de uma atmosfera substancial), a erosão à superfície da Lua é quase nula, o que faz com que a superfície lunar seja alterada muito lentamente quando comparada com a superfície terrestre. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Isso permite que os acidentes do relevo lunar perdurem milhões de anos, a menos que outro meteorito caia no mesmo local, alterando-o, ou que haja fragmentações no solo, provocadas pelas grandes amplitudes térmicas. Existe também uma erosão provocada por micrometeoritos e radiação solar que apagam os raios que se formam em torno de crateras.

Não foram encontradas evidências de tectónica de placas na Lua. Aparentemente trata-se de um mundo com apenas uma placa tectónica, toda a sua litosfera é uma única e sólida placa. Não existem *rifts* onde as placas se afastam, não existem cordilheiras formadas por colisões entre placas, e não existem zonas de subducção.

Por isso, apesar das cadeias montanhosas possuírem nomes terrestres, como *Alps* (Alpes), *Carpathians* (Cárpatos), e *Apennines* (Apeninos), são inteiramente diferentes na sua natureza. Geologicamente a Lua é um mundo morto. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Um pequeno planeta ou satélite possui pouco calor interno, e por isso o seu interior será praticamente todo sólido. Sem quantidades substanciais de material fundido no seu interior, um mundo pequeno não deverá possuir um campo magnético global. Estas regras gerais descrevem correctamente a Lua.

As alunagens concederam aos cientistas oportunidades sem precedentes de explorar um mundo extraterrestre. As naves espaciais *Apollo* foram portanto carregadas com uma gama de aparelhos que os astronautas colocaram à volta dos locais de alunagem. Por exemplo, todas as missões transportavam magnetómetros, que confirmaram que a Lua actual não possui um campo magnético global.

No entanto, cuidadosas medições magnéticas de rochas lunares recolhidas pelos astronautas das missões *Apollo* indicaram que a Lua possuiu um fraco campo magnético quando as rochas solidificaram há milhares de milhões de anos atrás.

Por isso, a Lua terá possuído originalmente um pequeno núcleo, fundido e rico em ferro. O núcleo presumivelmente solidificou, pelo menos parcialmente, à medida que a Lua arrefeceu e o campo magnético global cessou de existir.

Mais recentemente, cientistas utilizaram a *Lunar Prospector* para estudar a natureza do núcleo da Lua. A sonda espacial fez medições extensivas da gravidade lunar e de como a Lua responde quando passa através da magnetosfera terrestre. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Quando combinadas com observações detalhadas de como as forças das marés terrestres afectam o movimento da Lua, os dados indicam que a Lua actual possui um núcleo parcialmente líquido e rico em ferro, com cerca de 700 km de diâmetro. Enquanto 32% da massa da Terra é constituída pelo seu núcleo, o núcleo lunar apenas contém 2 a 3% da massa da Lua.

Têm sido utilizadas ondas sísmicas para investigar o interior da Lua, da mesma forma que é feito na Terra. Os astronautas das missões *Apollo* colocaram sismómetros na superfície lunar. Descobriu-se que a Lua exhibe muito menos actividade sísmica do que a Terra. Foram detectados aproximadamente 3000 sismos por ano, enquanto um sismómetro semelhante na Terra teria registado centenas de milhares de sismos por ano. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Para além disso, os sismos lunares típicos são muito fracos. Um grande sismo terrestre situa-se entre 6 e 8 na escala de Richter, enquanto um grande sismo lunar situa-se entre 0,5 e 1,5 nessa escala e não seria notado por uma pessoa situada perto do epicentro. Análises dos débeis sismos lunares revelam que a maioria são originados 600 a 800 km abaixo da superfície, sendo mais profundos do que a maioria dos sismos terrestres.

Na Terra, os sismos mais profundos marcam a fronteira entre a litosfera sólida e a astenosfera plástica. Isto porque a litosfera é suficientemente quebradiça para fracturar e produzir ondas sísmicas, enquanto a rocha mais profunda da astenosfera flui em vez de quebrar. Podemos concluir que a litosfera da Lua possui cerca de 800 km de espessura. Por contraste, a litosfera terrestre possui apenas 50 a 100 km de espessura. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A astenosfera lunar estende-se em profundidade até ao pequeno núcleo da Lua, a mais de 1400 km abaixo da superfície lunar. A astenosfera e a parte inferior da litosfera lunar são presumivelmente compostas por relativamente densas rochas ricas em ferro. A parte superior da litosfera trata-se de uma crosta com densidade inferior, com uma espessura média de 60 km na face voltada para a Terra, e com uma espessura de até 100 km na face oculta da Lua.

Em comparação, a espessura da crosta da Terra varia entre 5 km abaixo dos oceanos até cerca de 30 km abaixo das principais cordilheiras nos continentes. Esta distribuição desigual da massa da Lua entre a face voltada para a Terra e a face oculta é um efeito de maré da gravidade terrestre sobre o seu satélite e ajuda a manter a Lua em rotação síncrona.

De uma forma geral, o interior da Lua é muito mais rígido e menos fluido do que o interior da Terra. A tectónica de placas requer que exista movimento fluido pouco abaixo da superfície, por isso não é de espantar que não existam evidências de tectónica de placas na superfície lunar. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Os sismos tendem a ocorrer nas fronteiras entre placas tectónicas, onde placas passam umas pelas outras, colidem, ou sofrem subducção. Mas não existem movimentos de placas na Lua. O que causa então os sismos lunares?

A resposta acabou por ser as forças das marés terrestres. Da mesma forma que as forças das marés do Sol e da Lua deformam os oceanos terrestres dando origem às marés oceânicas, as forças das marés terrestres deformam o corpo sólido da Lua. A quantidade de deformação modifica-se com o movimento da Lua na sua órbita elíptica e a variação de distância da Terra à Lua.

Como resultado, o corpo da Lua flexiona ligeiramente, desencadeando sismos. Os efeitos das marés são maiores quando a Lua está mais perto da Terra, justamente quando os sismómetros das missões *Apollo* registaram mais sismos lunares. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001)

Sem tectónica de placas e sem a erosão causada por uma atmosfera ou oceanos, as únicas mudanças que ocorrem actualmente na superfície lunar são devidas a impactos de meteoróides. Estes impactos também são registados pelos sismómetros deixados na Lua pelos astronautas das missões *Apollo*.

Estes aparelhos, que permaneceram em funcionamento por vários anos, eram sensíveis o suficiente para detectar o impacto de um meteoróide do tamanho de uma uva em qualquer local da superfície lunar. Os dados mostram que todos os anos a Lua é atingida por 80 a 150 meteoróides com massas entre 0,1 e 1000 kg.

A superfície lunar encontra-se coberta por um solo poeirento chamado regolito, que é formado pela erosão provocada nas rochas da Lua por incontáveis meteoróides minúsculos. O regolito tem 2 a 8 metros de profundidade na zona dos mares e chega a atingir os 15 metros nas terras altas lunares. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

3.6. Observação da Lua

As posições da Lua, relativamente à Terra e ao Sol, dão origem a que, a partir do nosso planeta, se observem porções variáveis da metade da superfície lunar iluminada pela luz solar. Estes diferentes aspectos são as fases da Lua conhecidas vulgarmente pelos nomes de lua nova, quarto crescente, lua cheia e quarto minguante.

A primeira, corresponde ao momento em que a Lua passa entre a Terra e o Sol e, por isso, não é visível (a metade iluminada está no lado oposto). Cerca de dois dias após a lua nova, passa já a avistar-se um pequeno crescente, cujo tamanho vai aumentando. Quando a parte visível corresponde a metade do quarto crescente é comum dizer-se que a Lua atingiu a primeira falcada. Dias depois é alcançado o quarto crescente e depois, a caminho de lua cheia, a primeira giba.

À separação entre as partes iluminadas e obscuras dá-se o nome de círculo de iluminação ou terminador, linha que vai progredindo de oeste para leste, de noite para noite. Uma semana depois do quarto crescente não há terminador pois é visível toda a face iluminada.

Esta fase, denominada lua cheia, é a menos interessante para as observações de pormenores da superfície lunar pois a incidência perpendicular dos raios solares não permite beneficiar do efeito das sombras observadas junto ao terminador, quando ele existe. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Cerca de três dias e meio depois atinge-se a segunda giba e depois quarto minguante. É evidente que se na primeira falcada a Lua é observável próximo do horizonte (a oeste) a seguir ao pôr-do-sol, nesse momento ela estará praticamente a sul quando for quarto crescente.

Na fase de lua cheia, estará a surgir no horizonte, a leste, quando o Sol desaparece no lado oposto. No quarto minguante, a Lua nasce por volta da meia-noite, e cada vez mais tarde com a aproximação da segunda falcada. Três a quatro dias depois, será de novo lua nova, fase que, na realidade, nunca é possível ver (a face da Lua observável não está a ser iluminada pelo Sol).

Quando vemos a lua cheia, um observador, situado na Lua, não poderia ver a Terra na sua totalidade: veria apenas um crescente muito fino ou, no caso de um eclipse, um arco luminoso de cor avermelhada correspondente à atmosfera terrestre; na fase de lua nova, um observador situado na Lua veria a terra cheia.

A Terra, vista da Lua, apresenta um diâmetro aparente médio de $1^{\circ} 50'$. Como o albedo da Terra é bastante superior ao da Lua, a iluminação da terra cheia sobre a Lua é dezenas de vezes superior à que é produzida pela lua cheia na superfície terrestre. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Observando com atenção o nosso satélite, mesmo à vista desarmada, durante a fase crescente, verificaremos que a parte não iluminada pelo Sol é, mesmo assim, visível: apresenta uma tonalidade cinzenta e o contorno do limbo lunar (nessa parte escura) ainda se consegue ver.

Essa parte da Lua está a ser iluminada pela luz solar reflectida pela Terra, que incidindo no nosso satélite é novamente reflectida para o nosso planeta. Esta dupla reflexão da luz solar chama-se luz cinzenta e é ainda mais visível com binóculos, antes do quarto crescente.

Como a Lua não possui uma atmosfera que obscureça a sua superfície, temos uma visão clara dos diferentes tipos de características lunares. Ao olharmos para a Lua, mesmo à vista desarmada, são evidentes dois tipos de solo: regiões acidentadas e brilhantes, mais reflectoras, e planícies escuras a que, em muitos casos, se dá ainda o nome de mares (do Latim *maria* que significa mares, no singular *mare*, para mar). Designação atribuída por Galileu que se manteve por razões históricas, embora actualmente se saiba que os mares lunares não contêm água.

Também se mantiveram os nomes românticos atribuídos aos mares lunares pelos astrónomos do século XVII, como *Mare Tranquilitatis* (Mar da Tranquilidade), *Mare Nubium* (Mar das Nuvens), *Mare Imbrium* (Mar das Chuvas), *Mare Crisium* (Mar das Crises), *Mare Nectaris* (Mar de Néctar), *Mare Serenitatis* (Mar da Tranquilidade), etc. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Os mares lunares cobrem cerca de 40% da superfície da Lua e distribuem-se predominantemente na face voltada para a Terra (trata-se de uma rotação síncrona, como possui períodos de translação e de rotação são idênticos, a Lua mostra-nos sempre a mesma face).

Alguns deles estão situados em extensas depressões, e tiveram origens diferentes. Frequentemente os mares lunares são de origem vulcânica, sendo a sua aparência consequência da cor escura da lava solidificada.

Os mares lunares possuem muito menos crateras do que as regiões acidentadas envolventes. Como as crateras são causadas por bombardeamentos meteóricos, significa que os mares lunares não estiveram expostos a bombardeamento por tanto tempo como as regiões envolventes.

Por essa razão, os mares lunares deverão ser relativamente jovens, e as escoadas de lava que os formaram terão ocorrido numa fase tardia da história geológica da Lua. As crateras que se encontram nos mares lunares foram causadas pelos poucos impactos que ocorreram desde que a lava dos mares solidificou.

Apesar de serem muito maiores do que as crateras, os mares lunares também tendem a possuir uma forma circular. O que sugere que, tal como as crateras, estas depressões na superfície lunar foram criadas por impactos. Pensa-se que enormes meteoróides ou asteróides de algumas dezenas de quilómetros de diâmetro atingiram a Lua, formando bacias. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Uma bacia de impacto tem uma forma característica: é aproximadamente circular e apresenta vários anéis concêntricos de montanhas. Estas cadeias montanhosas são consequência do gigantesco impacto. Estas bacias foram inundadas por escoadas de lava do interior da Lua através de fissuras na crosta lunar. A lava solidificada formou os mares lunares que vemos hoje na superfície lunar.

Os anéis concêntricos de montanhas são facilmente observáveis com um telescópio em torno de quase todos os mares lunares. Podemos ver uma destas cadeias montanhosas à volta das extremidades do *Mare Imbrium*. Análises das rochas lunares assim como observações efectuadas de órbita lunar validaram esta explicação da origem das montanhas lunares.

Um impacto suficientemente forte para criar a bacia de um mar lunar deverá ejectar tremendas quantidades de material à volta do local de impacto. O que explica certas formas de relevo observadas na Lua: o apagamento (ou preenchimento do interior) de crateras vizinhas da bacia; o aparecimento de conjuntos de crateras dispostas em linha, radialmente ao mar, a que se chama catenas. Estas catenas devem-se a impactos secundários: é o material ejectado do impacto com o meteorito que, ao cair, as forma. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

O terreno mais antigo e de tons claros, que envolve os mares lunares, é chamado *terrae*, do Latim para a palavra terras. Os astrónomos do século XVII pensavam que este terreno era a terra seca que rodeava os oceanos lunares. Medições detalhadas efectuadas por astronautas em órbita lunar demonstraram que os mares lunares, na face da Lua voltada para a Terra, estão entre 2 a 5 km abaixo da elevação média da superfície lunar, enquanto as *terrae* estendem-se por vários quilómetros acima da elevação média.

Por essa razão as *terrae* são muitas vezes chamadas de terras altas lunares. Os mares lunares ocupam apenas 15% da superfície lunar total, enquanto os restantes 85% são ocupados pelas terras altas. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Quando o lado oculto da Lua foi fotografado pela primeira vez, pela sonda espacial *Soviet Luna 3* em 1959, os cientistas foram surpreendidos por praticamente não existirem mares lunares. As terras altas lunares são predominantes no lado oculto da lua. Presumivelmente, a crosta lunar é mais espessa no lado oculto, assim mesmo os mais fortes impactos que aí ocorreram não conseguiram criar fissuras na crosta e permitir que lava escoasse para a superfície.

Observada através de um telescópio, a superfície mais reflectora da luz solar mostra-nos inúmeras crateras, algumas com mais de 100 quilómetros de diâmetro, quase todas resultantes de embates violentos de meteoritos. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

O grande número de crateras sugere que os primeiros tempos da história da Lua foram extremamente violentos, admitindo-se que, numa espessura de alguns quilómetros da crosta, o material lunar se tenha misturado repetidamente com o material meteórico, durante muito tempo.

A observação do relevo lunar é mais fácil ao longo da linha de separação luz-sombra. Essa linha chama-se terminador e, ao longo dela, assim como nas regiões que lhe estão próximas, os raios solares são quase rasantes. Um observador que estivesse na Lua, situado no terminador, veria o Sol no horizonte, e à sua volta os objectos projectariam grandes sombras, tal como acontece na Terra. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Nestas condições, os acidentes do relevo lunar, crateras, muralhas, picos, cordilheiras e depressões, projectam grandes sombras, o que nos permite até observar pequenos desníveis no solo. À medida que a idade da Lua vai avançando, de dia para dia, o terminador desloca-se para leste e o jogo de sombras vai-se alterando na superfície lunar.

Na lua cheia, o terminador coincide com o limbo lunar, o contorno do globo da Lua. Deste modo, a fase de lua cheia é a menos conveniente para a observação da Lua, excepto na observação de crateras reflectoras de luz. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

O diâmetro aparente da Lua varia entre 29,5 e 33,5 minutos angulares, consoante a sua distância à Terra. Uns binóculos darão, imediatamente, a visão de um globo (deixa-se de ter a visão bidimensional de um disco plano e passamos a ver a Lua como um corpo tridimensional, uma esfera no espaço), permitindo a observação dos mares e das maiores crateras.

Em qualquer telescópio, com grandes ou pequenas ampliações, a Lua é sempre um espectáculo fascinante, de surpreendente nitidez. Podemos optar por uma visão global, com pequenas ampliações, ou, literalmente, sobrevoar regiões menos extensas utilizando maiores ampliações. Neste último caso, os telescópios com maiores aberturas (80 a 150 mm) poderão proporcionar imagens fabulosas, utilizando ampliações da ordem de 150× ou 250×.

A partir de um telescópio terrestre são visíveis cerca de 30 000 crateras, com diâmetros desde um quilómetro a várias centenas de quilómetros. Fotografias obtidas de órbita lunar revelaram milhares de crateras demasiado pequenas para serem vistas da Terra. As crateras lunares foram baptizadas por diferentes observadores e em diferentes épocas. Por esse motivo, encontram-se nomes das mais variadas origens.

Algumas crateras têm nomes de heróis clássicos (Hércules, Atlas), outras receberam nomes de cientistas e astrónomos (Newton, Copérnico, Kepler), outras ainda foram associadas a nomes de antigos navegadores (Colombo, Magalhães), filósofos (Aristóteles, Platão, Pitágoras), etc. Seguindo uma tradição estabelecida no século XVII, as crateras mais proeminentes são nomeadas honrando famosos filósofos, matemáticos e cientistas. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Tanto as crateras grandes como as pequenas são o resultado da Lua ter sido bombardeada por material meteórico, por essa razão também são chamadas crateras de impacto. Uma evidência de que as crateras lunares são causadas por impactos é a existência de um pico central, uma forma que só poderia ocorrer devido a impactos de alta velocidade.

Uma observação cuidadosa mostra-nos que as crateras lunares possuem configurações muito variadas. Utilizando um telescópio (mesmo um com apenas 60 mm de abertura), será óbvio que algumas crateras têm fundos relativamente planos, rodeados de bordos imponentes e bem conservados: a cratera de *Platão* (100 km de diâmetro e bordos de 2,5 km de altura) e a cratera de *Arquimedes* (80 km de diâmetro) constituem exemplos representativos deste tipo. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Outras crateras, embora apresentem fundos com pouco relevo, mostram outras crateras menores no seu interior, formadas mais recentemente: constituem exemplos a cratera de *Ptolomeu* (150 km de diâmetro), *Cassini* (50 km) e *Hiparco* (140 km). As crateras mais antigas apresentam já os bordos desabados, verificando-se por vezes a invasão de material do mar adjacente, como é o caso da cratera de *Gassendi*, de 90 km de diâmetro.

Muitas crateras apresentam um pico central bastante elevado: são exemplos óbvios as crateras de *Eratóstenes* (50 km de diâmetro) e de *Arzaquel* (90 km). Há também crateras bastante mais reflectoras de luz do que as regiões circundantes.

Tais crateras aparecem como regiões mais brilhantes, por vezes associadas a sistemas radiais (longos traços brilhantes que irradiam das crateras para as regiões circundantes: alguns dos exemplos mais óbvios são as crateras de *Tycho* (85 km de diâmetro), de *Aristarco* (48 km) e de *Kepler* (30 km). Estas regiões brilhantes vêm-se melhor quando o terminador passa longe delas, e especialmente na fase de lua cheia.

Há também outros relevos lunares de excepcional envergadura. A Muralha Recta, de 95 km de comprimento, é constituída por um desnível de 300 m de altura, quase na vertical. O Vale Alpino, a norte da cratera de *Cassini*, é uma fenda gigantesca de 135 km de comprimento e cerca de 10 km de largura, talvez resultante de um impacto meteórico rasante.

Os Apeninos Lunares, cadeia montanhosa de 6 km de altura e 600 km de comprimento, marcam o limite ocidental do Mar das Chuvas. A maior cratera lunar, a cratera de *Clávio*, tem 225 km de diâmetro e as montanhas que a delimitam elevam-se a 5,5 km de altura. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

As posições relativas do Sol, da Lua e da Terra originam fenómenos pouco frequentes mas espectaculares, a que damos o nome de eclipses, para cujas características e periodicidade contribuem as órbitas da Terra e da Lua. A interpretação dos eclipses é bastante simples.

A luz solar ilumina a metade do globo terrestre voltada para o Sol. Do lado oposto, que corresponde ao hemisfério não iluminado, forma-se um cone de sombra e um cone de penumbra. Quando a Lua, no seu movimento de translação em torno do nosso planeta, passa pela sombra da Terra (ou até pela penumbra) dá-se um eclipse da Lua. Esta, bastante obscurecida, fica menos visível. Os eclipses da Lua, só podem ocorrer na fase de lua cheia.

Os eclipses lunares podem ser totais ou parciais, dependendo de a Lua mergulhar totalmente ou parcialmente na sombra. Os eclipses lunares totais têm uma duração sempre inferior a 105 minutos, durante a fase de totalidade. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Os eclipses da Lua são visíveis por todos os observadores situados num dos hemisférios da Terra, desde que o local se encontre na face noturna da Terra quando ocorre o eclipse. A observação pode ser feita à vista desarmada mas a utilização de binóculos ou de um telescópio permite seguir a borda da sombra à medida que cobre as crateras lunares.

A Lua adquire um tom vermelho durante os eclipses, devido à luz solar que se refracta na atmosfera terrestre. A Lua eclipsada aparece mais ou menos brilhante, segundo a quantidade de poeira presente na atmosfera da Terra.

Não ocorrem eclipses em todas as luas cheias porque a órbita lunar está inclinada alguns graus em relação ao plano da órbita da Terra. Consequentemente, em quase todas as luas cheias, a Lua passa por cima, ou por baixo da sombra terrestre. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

3.7. Missões à Lua

Durante milhares de anos, contadores de histórias inventaram fabulosos contos sobre viagens à Lua. O escritor francês do século XVII, Cyrano de Bergerac (1619 – 1655), escreveu sobre uma nave espacial cuja força motriz era fornecida por esferas de orvalho matinal. Uma vez que, raciocinou Cyrano, como o orvalho ascende com o Sol matinal, a nave espacial também ascenderia.

No seu imaginativo conto *Somnium* (do Latim para sonho), Johannes Kepler (1571 - 1630) utilizou o conhecimento astronómico do seu tempo para visionar como seria andar na superfície da Lua. Neste conto um estudante de Tycho Brahe (1546 - 1601) é transportado para a Lua por forças ocultas. Carl Sagan (1934 - 1996) e Isaac Asimov (1920 - 1992) referiram-se a este conto como a primeira obra de ficção científica. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Em 1865 o escritor francês Jules Verne (1828 – 1905) publicou *De la Terre à la Lune* (Da Terra à Lua), a história de uma nave espacial enviada para a Lua de uma plataforma de lançamento na Flórida. Quase exactamente cem anos depois, a Flórida foi realmente o ponto de partida das primeiras viagens realizadas por humanos para outro mundo. Entre 1969 e 1972, 12 astronautas andaram na superfície da Lua, e a fantasia tornou-se realidade.

Assim como na história de Jules Verne, a política motivou a viagem à Lua, mas existiam também excelentes razões científicas para a realizar. Amostras de rochas lunares ajudaram a responder a muitas questões sobre a Lua e lançaram luz sobre a origem da Terra e o nascimento do sistema solar.

As missões lunares começaram em 1959, quando a União Soviética enviou três pequenas sondas espaciais, *Lunas 1, 2 e 3*, em direcção à Lua. As tentativas americanas para chegar à Lua começaram no início da década de 1960 com o projecto *Ranger*, que produziu 9 sondas espaciais.

Equipada com seis câmaras de televisão, a sonda espacial *Ranger* transmitiu imagens da superfície lunar nos poucos minutos antes de se despenhar na Lua. As imagens das sondas espaciais *Ranger* que tiveram sucesso possuíam muito mais detalhe do que mesmo os melhores telescópios terrestres. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A missão do programa *Lunar Orbiter* era realizar um levantamento fotográfico de alta resolução de toda a superfície lunar, ao abrigo do qual foram lançadas cinco sondas espaciais entre Agosto de 1966 e Agosto de 1967. As cinco *Lunar Orbiter* enviaram para a Terra, um total de 1950 imagens de alta resolução, cobrindo 99,5% da superfície da Lua.

Algumas destas fotografias mostram características tão pequenas como 1 metro de diâmetro. Como estas fotografias revelavam a superfície lunar em detalhe, foram essenciais para ajudar os cientistas da NASA a escolher locais de alunagem para os astronautas.

Mesmo depois das missões *Ranger*, não se sabia se a superfície lunar era um local seguro para pousar. Uma das principais teorias afirmava que milhares de milhões de anos de impactos de meteoróides tinham desfeito a superfície lunar num pó muito fino. Talvez a nave espacial, ao pousar, se afundasse num mar de pó semelhante a areias movediças.

Por isso, antes de uma alunagem tripulada poder ser tentada, era necessário tentar alunar uma nave espacial sem tripulação. Este era o objectivo do programa *Surveyor*. Entre Junho de 1966 e Janeiro de 1968, cinco *Surveyors* alunaram com sucesso, e enviaram de volta para a Terra imagens e dados directamente da superfície lunar. Estas missões demonstraram sem sombras de dúvidas que a superfície da Lua era tão sólida como a da Terra. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

A primeira de seis alunagens tripuladas teve lugar a 20 de Julho de 1969, quando o módulo lunar *Eagle* da *Apollo 11* pousou no Mar da Tranquilidade. Os astronautas Neil Alden Armstrong e Edwin “Buzz” Aldrin Jr. foram os primeiros seres humanos a pisar a superfície lunar. A missão *Apollo 12* também alunou num mar lunar, *Oceanus Procellarum* (Oceano das Tempestades).

A missão *Apollo 13* sofreu uma explosão a bordo que impossibilitou o pouso na Lua. Felizmente, graças aos esforços dos astronautas e dos técnicos da NASA a missão *Apollo 13* voltou em segurança para a Terra. As restantes quatro missões, da *Apollo 14* à *Apollo 17*, foram efectuadas em terreno progressivamente mais desafiador, escolhido para permitir a exploração de uma ampla variedade de características geologicamente interessantes. A primeira era da exploração humana da Lua culminou em Dezembro de 1972, quando a *Apollo 17* alunou em montanhas acidentadas a Este do Mar da Tranquilidade. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Entre 1966 e 1976, uma série de sondas espaciais soviéticas não tripuladas também orbitaram a Lua e alunaram na sua superfície. A primeira alunagem foi realizada pela *Luna 9*, quatro meses antes da chegada da *U.S. Surveyor 1*.

O primeiro satélite lunar, *Luna 10*, orbitou a Lua quatro meses antes da *Lunar Orbiter 1*. Na década de 1970, as sondas espaciais robóticas *Luna 17* e *Luna 21* alunaram veículos que percorreram a superfície lunar, e as *Lunas 16*, *20* e *24* trouxeram amostras de rochas lunares para a Terra. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

Sondas espaciais não tripuladas continuaram a exploração da Lua na década de 1990. A sonda espacial *Galileo* foi lançada em 1989 numa missão para Júpiter. A caminho, seguiu uma trajectória que a fez passar pelo sistema Terra-Lua em Dezembro de 1990 e Dezembro de 1992. Durante estas duas passagens, a sonda espacial *Galileo* recolheu imagens a cores da Lua com câmaras muito mais avançadas do que as das *Lunar Orbiters*.

Em 1994 uma pequena sonda espacial chamada *Clementine* observou a Lua por mais do que dois meses numa órbita lunar. Apesar de inicialmente ser destinada para testar sistemas leves de captação de imagens para futuros satélites de defesa, a *Clementine* provou ser uma ferramenta notável para a exploração lunar.

Transportava uma gama de câmaras de muito alta resolução sensíveis a luz ultravioleta e infravermelha, assim como ao espectro visível. Diferentes tipos de materiais na superfície lunar reflectem diferentes comprimentos de onda. Por isso análises das imagens da *Clementine* realizadas em diferentes partes do espectro electromagnético revelaram a composição de grandes áreas da superfície lunar.

Um resultado notável da missão *Clementine* foi ter encontrado evidências de uma camada de gelo com dezenas ou centenas de quilómetros de diâmetro no pólo sul da Lua. No fundo da bacia *Aitken* do pólo sul, a maior cratera de impacto do sistema solar com aproximadamente 2500 km de diâmetro e 13 km de profundidades, existem locais onde a luz solar nunca chega e onde as temperaturas são baixas o suficiente para impedir o gelo de evaporar.

Ondas de rádio emitidas pela sonda espacial *Clementine* em direcção a estas áreas, foram detectadas por radiotelescópios na Terra, e mostravam a assinatura característica de reflexão por gelo. (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Dados da sonda espacial *Lunar Prospector*, que entrou em órbita lunar em Janeiro de 1998, reforçaram as descobertas da *Clementine* e indicaram que ainda mais gelo poderia existir no fundo das crateras do pólo sul da Lua. O gelo poderá ter sido depositado por cometas que embateram na superfície lunar.

No entanto observações da *Lunar Prospector* apenas mostraram que existe um excesso de átomos de hidrogénio nos pólos lunares. Estes átomos poderão fazer parte de moléculas de água ou de minerais exóticos.

No fim da missão *Lunar Prospector* em Julho de 1999, a sonda espacial foi despenhada numa cratera do pólo sul da Lua na esperança que uma pequena quantidade de vapor de água se elevasse do local de impacto. Apesar de mais de uma dúzia de grandes telescópios terrestres terem observado a Lua durante o impacto, não foi observada a libertação de vapor de água nem de qualquer tipo de destroços.

Observações efectuadas da Terra em 2003 sugerem que se existir gelo nos pólos lunares, é na forma de placas com apenas alguns centímetros de espessura. (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics 2001) (Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

3.8. Dados físicos da Terra

Distância máxima ao Sol	$1,521 \times 10^8$ km
	1,017 U.A.
Distância mínima ao Sol	$1,471 \times 10^8$ km
	0,983 U.A.
Distância média ao Sol	$1,496 \times 10^8$ km
	1,000 U.A.
Excentricidade da órbita	0,017
Velocidade orbital média	29,79 km/s
Período de rotação	23,9345 horas
Período sideral	365,256 dias
Período sinódico	---
Inclinação do equador em relação ao plano da órbita	23,45°
Diâmetro equatorial	12 756 km
Massa	$5,974 \times 10^{24}$ kg
Massa volúmica média	5515 kg/m ³
Gravidade à superfície (em gravidades terrestres)	1
Velocidade de escape	11,2 km/s
Albedo	0,39
Temperatura máxima na superfície	60°C
Temperatura mínima na superfície	-90°C
Temperatura média na superfície	14°C
Atmosfera	78,08% N ₂ 20,95% O ₂ 0,035% CO ₂ 1% H ₂ O
Número de satélites conhecidos	1

Tabela 4 - Dados físicos da Terra

(Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

(Freedman, R; Kaufmann III, W. 2005)

Anexo 4. Marte

4.1. Introdução

Conhecido como o planeta vermelho devido à cor que apresenta no céu, Marte é de todos os astros errantes o que despertou mais curiosidade ao Homem. Como se trata de um planeta superior o seu movimento retrógrado ocorre numa região da esfera celeste oposta ao Sol, sendo assim fácil de seguir em noite sucessivas.

Devido à sua proximidade à Terra, a amplitude desse movimento é a maior de todos os planetas superiores. A sua coloração e o seu movimento na esfera celeste prenderam a atenção dos povos que deixaram durante os séculos inúmeros e variados registos.

Com a invenção do telescópio, tornou-se possível distinguir pormenores na superfície marciana. Nas alturas de maior proximidade entre a Terra e Marte, os detalhes da superfície marciana sugeriram, a alguns observadores do século XIX, a ideia de que o planeta possuía vastas redes de canais que revelavam a existência de uma civilização evoluída. A variação da cor de certas regiões e a dimensão variável das calotes polares cobertas de gelo, indiciavam a existência de um clima com estações semelhantes às da Terra. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

A semelhança entre a Terra e Marte revelou-se ainda maior em 1666, quando se descobriu que o planeta Marte possui um período de rotação idêntico ao da Terra. Cerca de 30 anos depois descobriu-se que o eixo de rotação de Marte possui uma inclinação praticamente igual ao da Terra, relativamente ao plano da respectiva órbita. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Em 1877, Asaph Hall (1829-1907) descobriu as duas luas de Marte a partir do U.S. Naval Observatory, *Fobos* e *Deimos*, dois objectos alongados, respectivamente com dimensões de 14×10 km e 8×6 km. *Deimos*, a lua mais afastada, circunda Marte em 30,3 horas; *Fobos*, a lua interior, demora apenas 7,67 horas.

Fobos orbita Marte mais depressa do que Marte gira. Visto de Marte, *Fobos* levanta-se a oeste e põe-se a este, geralmente duas vezes por dia. Está tão próximo da superfície que não pode ser visto de todos os pontos do planeta. *Fobos* vai acabar por cair em Marte ou transformar-se num anel, uma vez que o campo gravítico marciano está a baixar a sua órbita (1,8 metros por século).

Marte é o planeta telúrico que está mais próximo da cintura de asteróides. Provavelmente, *Fobos* e *Deimos*, são asteróides que foram capturados pelo campo gravítico marciano. Os dois satélites mantêm a sempre a mesma face voltada para o planeta. (Sheehan W. 1996)

Muitas das características de Marte, deduzidas a partir de observações telescópicas, análise espectral da luz solar reflectida e de medições da radiação infravermelha, foram confirmadas por sondas espaciais enviadas a partir de 1964.

A partir dos dados enviados por essas sondas, foram descobertos extensos vales de lava solidificada, proveniente de vulcões actualmente extintos, assim como o que aparentam ser antigos leitos de rios, onde poderá ter corrido água na superfície do planeta.

O solo marciano apresenta-se repleto de rochas vulcânicas como o basalto, com grande concentração de silício e ferro, sendo os respectivos óxidos os responsáveis pela cor avermelhada do planeta. (Sheehan W. 1996)

Durante a noite marciana a temperatura à superfície do planeta pode chegar aos -87°C e durante o dia marciano pode atingir os -5°C . Com uma temperatura média à superfície de -53°C , Marte é actualmente, um planeta frio e seco.

Mais frio do que a Antárctica e mais seco do que o Sahara. A temperatura mínima pode chegar aos -133°C , fazendo com que no inverno mais de 25% da atmosfera condense em neve e gelo formando camadas nos pólos de CO_2 congelado.

No Verão do hemisfério norte, a temperatura atinge os -73°C , no equador marciano pode chegar aos 27°C , e nos pólos atinge temperaturas à volta dos -138°C . No Verão do hemisfério sul a temperatura nunca ultrapassa os -123°C . (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Sheehan W. 1996)

A fisiografia geral de Marte é dividida em diferentes tipos de terreno, sendo as mais abundantes regiões de crateras, planícies, e vulcões. As regiões de crateras estão situadas principalmente no hemisfério sul, e estão separadas das regiões topograficamente mais baixas de planícies do hemisfério norte por escarpas de proporções globais.

A origem desta dicotomia entre hemisférios norte/sul é inexplicável, mas algumas medições de gravidade e estudos morfológicos apontam para uma crosta mais fina nas regiões baixas a norte, o que pode estar relacionado com um impacto gigante no início da história geológica marciana.

Ao contrário das regiões de crateras da Lua e Mercúrio, estas regiões em Marte mostram sinais de terem sido erodidas pela acção do vento, gelo e possivelmente água. Muitas das crateras têm as bordos degradados e/ou chão plano, cheio de material arrastado pela erosão. Alguns têm mesmo ramificações de vales de origem aparentemente fluvial. (Sheehan W. 1996)

Marte fascinou os cientistas e o público em geral porque é o planeta do sistema solar mais parecido com a Terra. Tem uma atmosfera dinâmica (apesar de ter apenas 1% da densidade da atmosfera terrestre), estações semelhante às da Terra (no entanto são duas vezes mais longas), e um período de rotação muito perto de 1 dia terrestre.

Marte possui vulcões gigantescos, vastas falhas, canais esculpidos aparentemente por água líquida, tempestades de poeira que chegam a ter proporções globais e calotas polares que crescem e diminuem com as estações. (Sheehan W. 1996)

4.2. Atmosfera de Marte

Os astrónomos do século XIX que observavam Marte através dos seus telescópios, ocasionalmente conseguiam ver formações de nuvens. Esta foi a primeira evidência de que Marte possui uma atmosfera.

A pressão atmosférica que se faz sentir na superfície marciana é cerca de um centésimo da pressão atmosférica que se faz sentir na superfície terrestre. Medições efectuadas por sondas espaciais revelaram que a pressão média à superfície de Marte é de apenas 0,0063 atmosferas, aproximadamente igual à pressão atmosférica que se faz sentir a uma altitude de 35 km da superfície da Terra. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004) (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Quando a sonda espacial *Mariner 4* passou por Marte em 1965, as suas medições indicaram que a atmosfera do planeta é constituída principalmente por dióxido de carbono. Sabemos agora que a extremamente rarefeita atmosfera marciana é constituída por cerca de 95,3% de dióxido de carbono e 2,7% de azoto, com pequenas quantidades de árgon, oxigénio, monóxido de carbono, e vapor de água. As nuvens marcianas são constituídas por pequenos cristais de gelo (H_2O) e de gelo seco (CO_2).

O dióxido de carbono e o vapor de água contribuem para o efeito de estufa. Na Terra, sem o efeito de estufa, a temperatura média seria cerca de 41°C mais baixa, mas em Marte a atmosfera rarefeita deixa escapar muita da radiação infravermelha para o espaço, fazendo com que o efeito de estufa marciano aumente a temperatura em apenas 5°C.

Se a atmosfera marciana tiver sido mais espessa num passado distante, o efeito de estufa teria sido mais forte, e a pressão e temperatura atmosféricas teriam sido suficientes para a existência de água líquida na superfície de Marte.

As sondas espaciais *Viking Lander* e *Mars Pathfinder* transportavam instrumentos para medir as condições atmosféricas em Marte. Como a atmosfera marciana é rarefeita e praticamente desprovida de nuvens, oferece pouco isolamento térmico dando origem a amplas variações na temperatura do ar durante o decorrer do dia marciano. No local onde a sonda espacial *Mars Pathfinder* pousou, as temperaturas variavam de -76°C pouco antes da madrugada, a -10°C durante a tarde marciana. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Todas as tardes, porções de ar quente ascendem da superfície marciana aquecida e formam redemoinhos de poeira (um fenómeno semelhante ocorre em terrenos secos ou desérticos na Terra). Os redemoinhos de poeira de Marte podem apresentar tamanhos 50 vezes superiores aos redemoinhos observados na Terra, podendo atingir uma altura de 6 km, suficientemente grandes para poderem ser vistos por sondas espaciais em órbita. Quando o Sol se põe e a tarde dá lugar à noite, os redemoinhos de poeira desaparecem, voltando a aparecer no dia seguinte.

As duas sondas espaciais *Viking Landers* também efectuaram medições durante o decorrer do ano marciano (a sonda *Mars Pathfinder* teve um tempo de vida de apenas 3 meses). As sondas *Viking Lander 1* e *Viking Lander 2* pousaram no hemisfério norte de Marte durante a Primavera e nessa mesma altura era Outono no hemisfério sul.

Inicialmente as sondas espaciais *Viking* mediram uma pressão atmosférica de cerca de 0,008 atmosferas, mas durante as semanas seguintes a pressão atmosférica foi baixando de forma regular. Marte parecia estar a perder a atmosfera rapidamente.

A explicação deste fenómeno acabou por ser simples: o Inverno estava a chegar ao hemisfério sul. O pólo sul marciano, durante o Inverno do hemisfério sul, fica tão frio que grandes quantidades de dióxido de carbono condensam cobrindo a superfície do pólo sul marciano com flocos de gelo seco. A formação desta neve de gelo seco remove gás da atmosfera marciana, baixando assim a pressão atmosférica em todo o planeta.

Alguns meses mais tarde, quando a Primavera chega ao hemisfério sul, a neve de gelo seco evapora rapidamente e a pressão atmosférica retorna aos valores anteriores ao Inverno. A pressão atmosférica volta a baixar no hemisfério sul durante o Verão, uma vez que é Inverno no hemisfério norte e o dióxido de carbono condensa no pólo norte marciano. Desta forma, tanto a temperatura como a pressão atmosférica variam significativamente durante as estações marcianas. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Assim como na Terra, as estações em Marte são causadas pela inclinação do eixo de rotação do planeta. Quando o pólo norte está voltado para o Sol, é Verão no hemisfério norte e Inverno no hemisfério sul. Quando o pólo sul está voltado para o Sol, é Inverno no hemisfério sul e Verão no hemisfério norte. Mas como Marte possui uma órbita muito elíptica, as variações sazonais nos hemisférios marcianos são diferentes.

O Verão chega ao hemisfério sul marciano ao mesmo tempo que o planeta faz a sua maior aproximação ao Sol. No hemisfério norte, por contraste, o Verão chega quando Marte se encontra mais afastado do Sol (a situação é semelhante à da Terra). Assim, a temperatura no pólo sul durante o Verão deveria ser superior do que no pólo norte quando também é Verão.

Paradoxalmente, as sondas espaciais *Viking Orbiters* registaram o oposto, a temperatura no Verão do hemisfério norte atinge os -73°C , enquanto a temperatura no Verão do hemisfério sul nunca ultrapassa os -123°C .

Esta contradição é criada por poeira na atmosfera. Quando é Verão no hemisfério sul, o Sol aquece o solo que rodeia a calota polar enquanto a calota polar permanece bastante fria. Este contraste de temperaturas origina ventos fortes que frequentemente produzem tempestades de poeira rodopiante. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Uma atmosfera empoeirada é atravessada por menos luz solar do que uma atmosfera límpida e desta forma as tempestades de poeira ajudam a manter a calota polar sul fria mesmo durante o pico do Verão.

No entanto, no pólo norte o aquecimento solar durante o Verão é menor porque o planeta se encontra mais afastado do Sol. Assim a diferença de temperatura entre a fria calota polar norte e o solo que a rodeia aquecido pelo Sol não é tão grande, e os ventos gerados não são suficientemente fortes para produzir tempestades de poeira que cubram o pólo norte marciano. Desta forma, a calota polar norte permanece exposta à luz solar, a temperatura eleva-se para níveis nunca encontrados no pólo sul, e o gelo seco evapora completamente. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Foram observados relevos de origem eólica em Marte, assim como relevos relacionados com a presença de água líquida e de gelos. As avalanches não requerem a presença de uma atmosfera, por isso podem ser observadas na Lua, em Mercúrio, e em Marte.

A erosão é mais pronunciada em planetas que têm atmosfera, uma vez que uma atmosfera é condição óbvia para a formação de características eólicas. Além disso, também é necessária uma atmosfera que contenha ou já conteve água para a formação de características hidrológicas e glaciais.

A erosão desgasta os altos topográficos e o enche os baixos topográficos de uma superfície planetária. Este processo de erosão e deposição é dirigido pela gravidade e é fortemente influenciado por factores ambientais como a pressão atmosférica, a densidade, a temperatura e a composição da superfície.

O movimento dos materiais dá-se através da acção de água líquida, do gelo, do vento, ou de massa (avalanches de rochas e escombros). Cada um destes processos produz efeitos morfológicos característicos que são frequentemente detectados por sondas espaciais.

As avalanches resultam na formação de deslizamentos de terra, cones, e glaciares de rocha. Em *Ophir Chasma*, um segmento de 200 km do *Valles Marineris*. As paredes da falha abateram, movendo uma enorme quantidade de massa rochosa até ao solo, situado a 6 km de profundidade.

A água produz canais e outros padrões de escoamento característicos e também pode conduzir à formação de topografias do tipo *karst* por dissolução de sais. A erosão perpetrada pelos gelos pode produzir uma grande variedade de relevos glaciares. Os efeitos erosivos do vento são visíveis nas crateras apagadas pelas dunas. (Sheehan W. 1996)

4.3. Superfície de Marte

Entre 1964 e 1969, três sondas espaciais norte-americanas não tripuladas (*Mariner 4*, *Mariner 6*, e *Mariner 7*) sobrevoaram Marte. A descoberta mais notável das três primeiras missões *Mariner* a Marte foi que a superfície do planeta se encontra marcada por crateras. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

No contexto da geologia planetária, a formação de crateras de impacto é o processo de modificação de superfície mais importante no sistema solar, porque operou de forma contínua desde a formação dos planetas (embora que a uma taxa decrescente com o tempo). Dado que tantas crateras sobreviveram até aos dias de hoje, pelo menos parte da superfície marciana deve ser extremamente antiga.

Apesar de muitas crateras marcianas serem bastante grandes, escaparam à detecção terrestre devido à poeira na atmosfera de Marte. A atmosfera marciana é extremamente rarefeita em relação à atmosfera da Terra, mas é suficiente para obscurecer a superfície do planeta. Mesmo o telescópio espacial Hubble não consegue obter imagens das crateras marcianas com clareza.

O estudo detalhado do papel dos impactos na geologia de Marte permitiu entender o processo de formação de crateras na Terra, assim como o papel da formação de crateras na história geológica da Terra. O processo de impacto envolve a transferência de energia do corpo que embate, a que se chama bólido, para uma superfície planetária.

Os bólidos podem variar em tamanho e composição, de pequenos corpos a asteróides maiores, e de cometas a grandes planetesimais. A quantidade de energia transferida determina as consequências geológicas, dependendo do tamanho, velocidade, composição, e força do bólido e das condições físicas e ambientais da superfície designada (gravidade, composição, pressão atmosférica). (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Sheehan W. 1996)

A formação de crateras de impacto dá-se em quatro fases distintas: colisão e transferência da energia cinética do bólido para a superfície por meio de uma onda de choque; descompressão dos materiais da crosta atravessados pela onda de choque compressiva; aceleração dos materiais rompidos pela onda de choque que resulta na escavação da cavidade de cratera; e reajustamento subsequente da cavidade da cratera devido a forças gravitacionais e relaxamento dos materiais comprimidos.

A maior parte da transferência de energia realiza-se na onda de choque compressiva, como energia térmica e como energia cinética por ejeção e movimento de materiais dentro da cavidade. O valor de pressão pode chegar a atingir os 5000 kbar, que corresponde a uma velocidade de impacto entre 15 a 25 km/s. Os materiais sob pressões superiores a 700 kbar geralmente são fundidos. (Sheehan W. 1996)

A fase de modificação final da cratera é complexa, e inclui a queda dos materiais ejectados na cavidade, a deposição de ejecta que forma uma estratigrafia invertida na região adjacente à cratera, o desmoronamento das paredes da cavidade da cratera inicial, abalos sísmicos, e a solidificação dos materiais fundidos pelo impacto.

Como a formação de crateras de impacto depende da colisão fortuita de objectos extraplanetários, superfícies mais velhas têm uma probabilidade muito superior de terem sido atingidas por bólides. A densidade de crateras de impacto por unidade de área dá-nos uma ideia da idade de determinada superfície planetária e a quantidade de modificação experimentada pela superfície ao longo da sua história geológica.

Tem sido feito um esforço considerável para determinar uma escala de idades absolutas, baseado na técnica de contar o número de crateras por unidade de área de superfície, e dividir por uma estimativa do fluxo de bólides por unidade de tempo. No entanto, não é possível aplicar esta ferramenta de datação a planetas do sistema solar com diferentes histórias geológicas e diferentes taxas de formação de crateras. Por exemplo, nem todos os relevos circulares vistos em imagens da superfície de Marte são de impactos primários (podem estar relacionados com eventos vulcânicos, impactos secundários, etc.). (Sheehan W. 1996)

As superfícies planetárias também podem alcançar um valor de saturação de crateras, nessa situação a criação de novas crateras destrói evidências de crateras mais antigas. Tais superfícies não podem ser datadas com precisão. Apesar destas limitações, a estatística de impactos pode ser usada como um meio eficaz de estabelecer uma sucessão de idades relativas entre diferentes superfícies planetárias.

As primeiras evidências de que Marte possuiu actividade vulcânica no passado surgiram quando a missão *Mariner 9* descobriu vários vulcões enormes. O maior de todos, *Olympus Mons*, é o maior vulcão do sistema solar com 600 km de diâmetro e 24 km de altura (cerca de três vezes mais alto que o Monte Everest). As gigantescas dimensões de *Olympus Mons*, sugerem a ausência de tectónica de placas em Marte. Um único ponto quente ou *hot-spot* situado abaixo deste vulcão, deverá ter despejado magma pela mesma chaminé durante milhões de anos, produzindo um único vulcão gigantesco, em vez de uma longa cadeia de vulcões menores. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Sheehan W. 1996)

Por que razão um vulcão com as proporções de *Olympus Mons* não foi registado por astrónomos, muito antes da missão *Mariner 9*? A resposta reside no facto de vulcões de *hot-spot* produzirem cones com inclinação pouco acentuada. Mesmo quando iluminados lateralmente, como ao pôr-do-sol ou ao nascer do sol, estes vulcões lançam uma sombra pequena. Assim, visto da Terra, *Olympus Mons* não sobressai das suas redondezas.

Os vulcões marcianos exibem alguma variedade de morfologias. Mas o vulcão marciano clássico, como *Olympus Mons*, é muito semelhante às formações vulcânicas basálticas terrestres do tipo Havaiano. Na Terra, o vulcanismo de *hot-spot* foi responsável pela formação das ilhas Havaianas.

O vulcão *Alba Patera*, possui mais de 1000 km de diâmetro no entanto possui apenas alguns km de altura. Os seus flancos indicam a presença de depósitos piroclásticos e de fluxos de lava efusiva. Foram esculpidos canais no seu cone por escoadas de material liquefeito proveniente de actividade eruptiva. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Sheehan W. 1996)

O vulcanismo foi um importante interveniente na modificação da superfície de Marte, como se pode verificar pelo número e variedade de relevos vulcânicos. A Este de *Olympus Mons* podemos encontrar um aglomerado de vulcões com 2500 km de largura, no planalto *Tharsis*, a região de maior vulcanismo em Marte.

O planalto *Tharsis* é uma protuberância em forma de cúpula, entre 5 a 6 km acima da altitude média da superfície marciana. Aparentemente, formou-se uma maciça pluma mantélica (bolsa de magma) a partir de um *hot-spot* situado nesta região, que produziu o planalto *Tharsis* e os seus vulcões. Este vulcanismo causado por anomalias térmicas no manto, não adiciona muito material novo à crosta, em vez disso, a crosta é simplesmente empurrada para os lados. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

No lado oposto de Marte situa-se *Elysium Mons*, outro vulcão de grandes proporções produzido a partir de um *hot-spot*, e que pode ser facilmente encontrado em *Elysium Planitia*, nas regiões altas do hemisfério sul, perto da bacia de impacto *Hellas Planitia*. Outros relevos vulcânicos de grandes proporções também podem ser encontrados ao longo da escarpa entre os hemisférios norte e sul. No entanto, nenhum dos vulcões marcianos se encontra em actividade actualmente. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Sheehan W. 1996)

A Este do planalto *Tharsis*, a sonda espacial *Mariner 9* descobriu um gigantesco *canyon*, praticamente paralelo ao equador marciano, com mais de 4000 km de comprimento, 600 km de largura no seu centro, e uma profundidade máxima de 8 km. Em honra à sonda espacial que tanto revelou da superfície marciana, este *canyon* foi chamado *Valles Marineris*.

Muitos geólogos suspeitam que *Valles Marineris* tenha sido criado pela mesma pluma mantélica que formou o planalto *Tharsis*. À medida que a superfície marciana era elevada em *Tharsis*, terá sido exercida uma pressão tremenda na crosta, que por sua vez teria causado uma fracturação extensa. Assim, *Valles Marineris* poderá ser um vale de *rifte*, uma formação geológica criada quando a crosta fractura ao longo de uma linha de falha. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

As sondas espaciais que orbitaram Marte não encontraram evidências de chuva ou de água no estado líquido, mas encontraram muitas características na superfície do planeta que se assemelham a lagos e leitos de rios secos.

Padrões ramificados intrincados e delicados canais percorrendo crateras planas sugerem fortemente que existiu água no estado líquido na superfície marciana. Estes canais secos encontram-se ao longo das antigas terras altas do hemisfério sul mas em relativamente poucos locais nas mais recentes terras baixas do hemisfério norte, o que leva a concluir que grandes quantidades de água no estado líquido fluíram na superfície marciana num passado distante e não num passado recente. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Várias imagens da sonda espacial *Mars Global Surveyor* mostram regos aparentemente cravados por água a fluir por paredes de covas ou de crateras. Outras imagens de sondas espaciais revelaram evidências de poderosas enchentes repentinas na superfície marciana.

Também foram encontradas evidências de que água fluíu durante períodos contínuos. Estas formações deverão ser bastante antigas porque actualmente não pode existir água no estado líquido na superfície marciana.

As manchas escuras na superfície marciana visíveis da Terra correspondem a variações da coloração do terreno, mudam de forma por acção dos ventos e nem sempre correspondem a relevos geográficos. A mais proeminente destas regiões é sem dúvida *Syrtis Major Planitia*, localizada entre as planícies do norte e as regiões montanhosas do sul de Marte.

Syrtis Major Planitia foi considerada durante muito tempo como uma planície, tendo sido alvo de inúmeras observações devido às suas longas variações sazonais. Este fenómeno gerou teorias de que a região fosse um mar dragado, e mais tarde, de que a causa seria a formação de vegetação em algumas estações.

Nos anos sessenta e setenta, observações realizadas pelas sondas espaciais *Mariner* e *Viking* levaram à conclusão de que as variações são causadas por ventos que transportam poeiras para a região. Mais tarde, observações da *Mars Global Surveyor* revelaram que a região de *Syrtis Major Planitia* é na verdade dominada por um cone de vulcão bastante baixo e desgastado.

A água só permanece líquida numa gama limitada de temperaturas: se a temperatura for muito baixa a água torna-se gelo, e se a temperatura for muito alta torna-se vapor de água. O que determina esta gama de temperatura é a pressão atmosférica a que a água está submetida.

Se a pressão for muito reduzida as moléculas escapam com facilidade da superfície do líquido, fazendo com que a água se evapore. Assim, a baixas pressões atmosféricas a água líquida torna-se facilmente em vapor de água. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

4.3. Superfície de Marte

A temperatura média à superfície de Marte é -53°C , e a pressão atmosférica é apenas 0,0063 atmosferas. Com esta combinação de temperatura e pressão atmosférica, a água consegue existir sob a forma de sólido (gelo) e de gás (vapor de água), mas não como um líquido. Assim, para água líquida poder ter existido na superfície marciana a atmosfera deverá ter sido mais quente e mais espessa do que actualmente.

A quantidade total de água em Marte é desconhecida, mas examinando canais de enchente em vários locais da superfície estima-se que exista água suficiente para cobrir o planeta até uma profundidade de 500 metros (a Terra possui água suficiente para cobrir o planeta até uma profundidade de 2700 metros). Apesar da quantidade de água em Marte ser menor do que na Terra, existe água suficiente para ter formado lagos ou mesmo oceanos. (Sheehan W. 1996) (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

4.4. Interior de Marte

Nos anos 70, medições de espectros levadas a cabo pelos veículos *Viking* mostraram que ocorreu uma intensa perda de H_2 na atmosfera rarefeita de Marte. Embora a extensão da perda seja discutível, é evidente que Marte perdeu 70% a 90% da sua água disponível.

A atmosfera marciana não sofreu tantas perdas de CO_2 devido ao seu peso molecular ser mais alto. Outros gases como o N_2 e os gases nobres também foram perdidos em proporções que estão de acordo com as suas massas moleculares. Mas o que terá provocado essa enorme perda de massa gasosa?

Evidências recolhidas pela *Mars Global Surveyor* apoiam a suspeita de que a atmosfera do planeta foi simplesmente soprada pelo vento solar. O vento solar é uma parte da atmosfera exterior do Sol que se move rapidamente.

A coroa solar, com uma temperatura maior do que um milhão de graus centígrados, está tão quente que a gravidade do Sol não a consegue atrair eficazmente. Assim, flui para o espaço em todas as direcções, viajando a velocidades de 400 a 800 km/s. Todos os planetas do sistema solar estão imersos nesta brisa tempestuosa de partículas carregadas.

Na Terra estamos protegidos do vento solar por um campo magnético global que se estende por 50 000 km no espaço (o mesmo que faz as agulhas das bússolas apontar para norte). A magnetosfera do nosso planeta que se estende no espaço reflecte os iões do vento solar, antes de eles penetrarem na atmosfera. (Sheehan W. 1996)

No entanto, o planeta Marte não tem tanta sorte. Sem um campo magnético global, a maior parte do planeta é constantemente bombardeada pelo vento solar. A atmosfera marciana, ionizada pela radiação ultravioleta do Sol, é apanhada pelo vento solar magnetizado que simplesmente a sopra para o espaço.

Embora Marte já não tenha uma magnetosfera significativa, pensa-se que já a teve e que alguns traços residuais dela ainda existem. Em 1998, magnetómetros da *Mars Global Surveyor* descobriram uma cadeia de regiões com campos magnéticos no hemisfério meridional de Marte. Esses campos magnéticos arqueiam por cima da superfície como guarda-chuvas magnéticos com centenas de km de altura.

Nesses pontos o campo magnético é aproximadamente tão forte quanto o da Terra. Em outros locais do planeta Marte o campo magnético é 100 a 1000 vezes mais fraco. Essas magnetosferas em miniatura bloqueiam o vento solar, protegendo bolsas de gases ionizados por radiação de UV, que de outra forma seriam sopradas para o espaço. (Sheehan W. 1996)

O campo magnético terrestre é provocado por um dínamo activo, ou seja, pelas correntes circulantes no interior líquido do planeta. Um dínamo semelhante já existiu em Marte, mas por razões desconhecidas deixou de funcionar há 4 mil milhões de anos atrás. As bolhas magnéticas que vemos agora são restos da magnetosfera inicial.

Consegue-se localizar com alguma certeza a altura em que o dínamo parou de funcionar porque duas enormes crateras de impacto, *Hellas Planitia* e *Argyre Planitia*, de aproximadamente 4 mil milhões de anos estão desmagnetizadas.

Se o dínamo ainda estivesse a funcionar quando esses relevos foram formados, a crosta teria remagnetizado à medida que ia arrefecendo, orientando os momentos magnéticos nos metais de acordo com o campo magnético. O que implica que o dínamo deve ter parado antes desses impactos. Pensa-se que quando o núcleo quente do planeta arrefeceu, o dínamo parou e a magnetosfera de Marte desapareceu.

Algumas regiões da superfície marciana estão magnetizadas em diferentes direcções, o que sugere que o campo magnético marciano inverteu a sua direcção ao longo do tempo, tal como aconteceu com o campo magnético terrestre.

Assim outra hipótese para a inexistência de uma magnetosfera marciana afirma que o planeta Marte esteja a atravessar uma fase de inversão da direcção do campo magnético, o que explicaria o seu fraco campo magnético. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Sheehan W. 1996)

A constituição do interior de Marte é semelhante ao da Terra. O planeta Marte possui um raio de 3397 km, que é apenas 53% do raio da Terra. A sua massa é de apenas $6,418 \times 10^{23}$ kg, cerca de 11% da massa da Terra. A sua densidade é de 3934 kg/m^3 , e é muito mais baixa que a da Terra (5515 kg/m^3).

Isto implica que o interior de Marte é muito diferente do interior da Terra. Apesar do núcleo marciano possuir um raio de cerca de metade do raio do planeta Marte, deverá ser muito mais pequeno do que o núcleo da Terra.

O núcleo marciano deverá consistir numa mistura de ferro e de sulfato de ferro, que têm uma menor densidade do que os materiais do núcleo terrestre. O manto marciano deverá ter uma densidade semelhante ao da Terra. No entanto, a sua composição exacta não é bem conhecida. Um dos modelos considera que o manto deverá ser constituído de olivina (silicatos de ferro-magnésio), óxido de ferro, e alguma água (0,3 %). (Sheehan W. 1996)

Pensa-se que Marte poderá ter possuído uma tectónica de placas semelhante à da Terra, mas que cessou à medida que Marte arrefeceu. Uma vez que corpos menores perdem calor mais rapidamente do que corpos maiores, Marte deverá ter perdido o seu calor interno a um ritmo muito superior ao da Terra por ser substancialmente menor do que esta.

Assim, as camadas exteriores do planeta vermelho arrefeceram muito mais extensamente do que as da Terra, tornando a crosta marciana dezenas de quilómetros mais espessa do que a crosta terrestre.

Desta forma, é impossível que uma parte da crosta seja subductada por outra parte da crosta, o que implica que a crosta marciana seja formada por uma única placa tectónica, como acontece com a Lua, Mercúrio, e Vénus. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

4.5. Observação de Marte

A localização de Marte no céu à vista desarmada é bastante fácil, uma vez que o planeta aparece muito brilhante e a sua cor característica salienta a sua posição no céu terrestre. A magnitude de Marte é comparável à das estrelas mais brilhantes e varia entre +2 e -2,8 dependendo da sua distância à Terra que varia entre 77,8 e 377,0 milhões de quilómetros.

Para um astrónomo amador, a observação telescópica de Marte não é das mais fáceis, uma vez que o seu diâmetro aparente varia apenas entre 3,5 e 25 segundos de arco, dependendo da distância a que se encontra. (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

É necessário um telescópio de pelo menos 60 mm de diâmetro e uma ampliação de pelo menos 150× para observar o globo marciano, o que permite observar as calotas polares, neblinas e as manchas principais na sua superfície, como *Syrtis Major* ou *Hellas*.

Marte é mais facilmente visível quando está em oposição e quando se encontra mais perto da Terra. As oposições de Marte ocorrem em intervalos de cerca de 780 dias, ou seja, a cada 2 anos e 7 semanas. No entanto, algumas oposições proporcionam uma melhor visão do planeta do que outras. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Marte encontra-se numa órbita de grande excentricidade, o que a torna muito alongada. Assim, o planeta é mais visível quando se encontra simultaneamente em oposição e perto do periélio da sua órbita, uma configuração chamada oposição favorável.

A distância entre Marte e a Terra pode chegar a ser tão reduzida como 0,37 U.A. (56 milhões de km), e o diâmetro aparente de Marte pode chegar a ser tão grande como a cabeça de uma pessoa vista a uma distância de 1,6 km.

Nestas condições, Marte aparece no céu nocturno como um objecto vermelho brilhante, 3½ mais brilhante que Sírius, a estrela mais brilhante no céu. Durante a oposição favorável de 2003, a distância entre Marte e a Terra foi a mais reduzida dos últimos milhares de anos.

Infelizmente, o período entre oposições favoráveis é de cerca de 15 anos. Por essa razão, os astrónomos aproveitam todas as oposições, mesmo as desfavoráveis, para observar Marte. Quando o planeta se encontra em oposição, mas perto do afélio da sua órbita, como irá ocorrer em 2012, a distância entre Marte e a Terra pode chegar a ser tão grande como 0,68 U.A. (101 milhões de km).

Quando observado nestas condições, através de um pequeno telescópio, Marte aparece como um ponto vermelho sem características. Apesar de Marte parecer vermelho brilhante aos observadores terrestres, a sua superfície possui uma cor castanho-avermelhada. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

Essa discrepância de cores deve-se ao facto de uma superfície castanha iluminada pelo Sol, rodeada pela escuridão do espaço, ser percebida pelo olho humano como sendo vermelha. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Os principiantes que observem Marte através de um telescópio podem ficar surpreendidos pelas suas reduzidas dimensões. As melhores imagens telescópicas acessíveis da Terra assemelham-se ao aspecto que a Lua oferece à vista desarmada. As primeiras observações não mostram mais do que um disco âmbar, com alguns traços subtis e talvez uma calota polar esbranquiçada. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

No entanto, dos planetas telúricos, Marte é o mais simples de estudar com um pequeno telescópio. Ao contrário de Mercúrio, que nunca aparece muito longe do Sol, o planeta Marte pode ser visto alto no céu nocturno quando se encontra em oposição.

Ao contrário de Vénus, com a sua densa atmosfera e a sua perpétua cobertura de nuvens, Marte possui uma atmosfera fina e praticamente sem nuvens que permite uma visão clara da sua superfície. Nas condições certas, um telescópio relativamente pequeno pode revelar detalhes substanciais da superfície marciana. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Os detalhes de Marte são delicados e ilusórios. Para captá-los melhor deve-se utilizar um telescópio refractor de 125 mm ou 150 mm. Acoplar filtros à ocular auxilia a observação; o azul (Wratten 44a) e o verde (58), destacam as nuvens e as neblinas atmosféricas; o laranja (21) e o vermelho (25 ou 23a), realçam os detalhes superficiais.

Cada uma das estações do ano marciano dura o dobro das estações terrestres. Por vezes consegue-se perceber a ampliação e a retracção das calotas polares com o decorrer das estações marcianas. A visibilidade dos traços muda à medida que os ventos sopram sobre eles.

Há ocasiões em que não se vislumbra nenhum traço durante dias ou semanas, devido a tempestades de poeira à escala planetária. Os observadores devem manter-se alerta para detectarem o seu início. (Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003)

4.6. Missões a Marte

Marte é um dos objectos celestes mais estudados, tanto por observatórios terrestres, como por sondas e veículos espaciais (incluindo o *Hubble Space Telescope*), e é uma escolha óbvia para futuras missões humanas no século XXI.

Os estudos geológicos iniciais de Marte foram obtidos por observações telescópicas terrestres durante períodos em que Marte e a Terra estavam mais próximos. Estes estudos revelaram dois tipos principais de superfícies: regiões claras e regiões escuras, e relataram o crescimento e retracção das calotas polares.

Foram feitas especulações sobre a composição da superfície, como sendo bastante rica em ferro oxidado (Fe^{3+}), devido à cor extremamente vermelha das regiões luminosas, semelhante a muitos desertos e terras terrestres de rochas oxidadas.

Observações espectrográficas nos anos 60 e 70 começaram a quantificar a diferença de cor entre as várias regiões e indicaram que as regiões escuras contêm o mineral *piroxena*, sendo assim de origem vulcânica. (Sheehan W. 1996)

Estudos mais recentes das observações do *Hubble Space Telescope*, revelaram ainda mais diferenças entre a composição mineral das regiões escuras e a composição mineral das regiões claras. As observações feitas por sondas espaciais começaram no fim dos anos 60 e ampliaram a nossa visão da geologia de Marte, provando que o planeta era muito mais activo do que é hoje, geológica e climatologicamente.

Observações levadas a cabo pelas sondas espaciais *Mariner 4*, *6*, e *7* obtiveram dados de espectroscopia e dados fotográficos do hemisfério sul, inclusive sobre a calota polar sul. Estas observações revelaram uma superfície repleta de crateras, muito mais antiga do que se tinha sido pensado, e indicou que os gelos polares sazonais são constituídos predominantemente por gelo de CO_2 e não somente por gelo de H_2O .

As imagens no domínio do visível, térmico e espectroscopia, recolhidas pelas missões *Mariner 9* e *Viking*, revelaram uma superfície planetária complexa, moldada claramente por actividade vulcânica, tectónica, de impacto, e erosiva.

Mas o que mais intrigou os cientistas foi a descoberta um sistema de vales provavelmente causados pela acção de água líquida na superfície. As cadeias de vales, assim como outras características morfológicas, indicam inundações gigantescas em Marte e mudanças nas taxas de erosão. (Sheehan W. 1996)

As primeiras sondas espaciais que pousaram na superfície marciana foram as *Viking Landers*. As duas sondas espaciais foram lançadas em 1975 e chegaram a Marte quase um ano depois. Cada sonda espacial era composta por dois módulos, um satélite e um veículo.

Após entrar na órbita de Marte, cada veículo separou-se do seu satélite e desceu até à superfície marciana auxiliado por um escudo térmico, retrofoguetes, e um pára-quedas. Cada veículo era aproximadamente do tamanho de um pequeno automóvel.

A *Viking Lander 1* pousou a Julho de 1976 numa planície, moderadamente salpicada de crateras, chamada *Chryse Planitia* nas terras baixas do hemisfério norte. Enviou deste local dados por rádio para a Terra até Novembro de 1982. As câmaras da sonda revelaram uma paisagem coberta de rochas, provavelmente destroços de uma antiga cratera de impacto que ejectou escombros rochosos em todas as direcções.

Imagens recolhidas pela *Viking Lander 1* mostram a paisagem coberta por uma poeira fina. Estas partículas são muito mais reduzidas que o pó caseiro na Terra, possuem apenas cerca de $1\text{ }\mu\text{m}$ (10^{-6} m) de diâmetro, do tamanho de partículas de fumo de cigarro.

A *Viking Lander 2* pousou em *Utopia Planitia* a Agosto de 1976, praticamente do lado oposto do planeta da *Viking Lander 1*, e transmitiu dados para a Terra até Abril de 1980. O terreno que rodeava a *Viking Lander 2* era notavelmente livre de crateras, mas igualmente com rochas espalhadas.

Pensa-se que estas rochas tenham sido ejectadas por uma grande cratera situada a cerca de 200 km a Este do local onde a sonda pousou. As rochas também se encontravam cobertas por uma fina poeira. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Para além das câmaras, cada *Viking Lander* possuía um braço mecânico extensível com uma concha na extremidade para cavar o regolito marciano e recolher amostras para análise. Partes do regolito foram atraídas por um íman montado na concha, indicando que o regolito continha ferro.

Um espectrómetro de raios-X mediu a composição química das amostras recolhidas em cada uma das sondas, revelando que serem ricas em ferro, silício e enxofre. Podemos assim descrever o regolito marciano como um barro rico em ferro.

As sondas *Viking Landers* possuíam laboratórios químicos miniaturizados para analisar o regolito. Quando uma pequena quantidade de água foi adicionada a uma amostra de regolito, a amostra começou a libertar oxigénio. Esta experiência indicava que o regolito marciano continha substâncias químicas instáveis chamadas peróxidos e superóxidos, que se decompõem na presença de água libertando oxigénio gasoso.

A química instável do regolito marciano provem provavelmente da radiação solar ultravioleta que atinge a superfície do planeta (ao contrário da Terra, Marte não possui uma camada de ozono para bloquear a luz ultravioleta). (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

As experiências que foram conduzidas a bordo dos dois veículos *Viking* (1976-1980) foram projectadas para procurar evidências da existência de materiais orgânicos que poderiam indicar a presença de vida na actualidade ou no passado de Marte.

Apesar de ser evidente que Marte não possuía civilizações nem vastos campos de vegetação, ainda restava a possibilidade da existência de microrganismos que poderiam ter evoluído durante uma antiga e breve época com um clima semelhante ao da Terra. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Sheehan W. 1996)

Se essa situação tivesse ocorrido talvez algumas espécies tivessem sobrevivido até à actualidade. Para testar esta ideia as *Viking Landers* procuraram por reacções químicas biológicas nas amostras do regolito marciano, mas não encontraram este tipo de reacções. Talvez a vida nunca tenha surgido em Marte ou talvez tenha surgido mas foi destruída pela presença de peróxidos e de superóxidos no regolito marciano.

Na Terra o peróxido de hidrogénio é utilizado como anti-séptico, quando colocado numa ferida reage com material orgânico dos germes destruindo-os. Assim as sondas *Viking Landers* não encontraram bioquímica em Marte porque o regolito marciano está literalmente esterilizado.

As observações de Marte pela sonda espacial *Phobos 2* em 1989, obtiveram imagens térmicas e imagens de espectroscopia de uma região limitada da superfície marciana, acrescentando informação nova sobre as propriedades termofísicas e mineralógicas da superfície marciana. (Sheehan W. 1996)

A sonda espacial *Mars Pathfinder* pousou em Marte a 4 de Julho de 1997. A bordo encontrava-se um pequeno veículo chamado *Sojourner*. Seguindo ordens a partir da Terra, a *Sojourner* passou três meses a explorar as rochas que rodeavam o local de aterragem. Durante esses três meses enviou por rádio para a Terra dez vezes mais imagens do que as duas sondas *Viking Landers* combinadas.

A *Mars Pathfinder* pousou a cerca de 800 km da *Viking Lander 1*, no que aparenta ser um antigo canal de enchente nas terras baixas do hemisfério norte chamado *Ares Valles*. As águas de enchentes podem carregar todo o tipo de rochas a grandes distâncias da sua localização original. Assim os cientistas esperavam encontrar neste local de aterragem uma grande diversidade geológica.

Não ficaram desapontados: algumas rochas assemelhavam-se a brechas de impacto (brecha é uma rocha clástica formada de fragmentos grandes e angulosos, envolvidos por uma massa de cimentação composta por um material mais fino), encontradas nas antigas terras altas da Lua. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Outras possuíam uma estrutura de camadas como as rochas sedimentares na Terra, estas rochas formam-se gradualmente no fundo de grandes corpos de água. Talvez a água líquida fosse estável em pelo menos algumas regiões de Marte por um período substancial de tempo.

Muitas das rochas no local de aterragem da *Mars Pathfinder* aparentam ser rochas ígneas produzidas por acção vulcânica. Mas como Marte possui vulcões que já estiveram activos, essa descoberta não se revelou surpreendente.

O que se revelou uma surpresa foi a composição química destas rochas vulcânicas, que ao contrário dos basaltos encontrados na Terra, possuem uma relativamente alta concentração de silício. Rochas ricas em silício são formadas quando o material da crosta aquece tanto que funde, permitindo que materiais menos densos flutuem até à superfície.

A sonda *Mars Global Surveyor* chegou a Marte a 11 de Setembro de 1997. As observações desta sonda espacial indicam a presença deste tipo de rochas em amplas regiões das jovens terras baixas do hemisfério norte.

Em contraste, os basaltos dominam a mais antigas terras altas do hemisfério sul, o que significa que algures no passado, algo mudou no interior de Marte para alterar o tipo de lava que fluiu dos vulcões. Ainda é desconhecido quando esta mudança ocorreu.

Imagens da *Mars Global Surveyor* sugerem que Marte era, há 3,5 mil milhões de anos, coberto de lagos pouco profundos. A superfície marciana revela inúmeros afloramentos, semelhantes às rochas sedimentares terrestres, sugerindo que houve água líquida em algum estágio da evolução de Marte. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Sheehan W. 1996)

Esta descoberta mostra que o ambiente Marciano era muito mais dinâmico no passado. As rochas sedimentares terrestres possuem registos de alterações climáticas e muitas vezes contêm fósseis. Assim, se alguma vez existiu vida em Marte alguns restos orgânicos poderão ter sido preservados nessas camadas rochosas.

Grandes depósitos sedimentares na Terra levam milhões de anos para acumular, à medida que pedaços minúsculos de areia e/ou de pó assentam em camadas debaixo de água. Apertados pelo seu próprio peso e pelo peso da água, as camadas tornam-se mais espessas e duras com a passagem de tempo.

A cor e textura de cada camada dependem da composição química da água e dos sedimentos. Estas camadas rochosas deverão ter cerca de 4000 milhões de anos (tempo suficiente para o surgimento de vida microscópica), estão depositadas horizontalmente e aparentam consistir de material de uma granulosidade muito fina. (Sheehan W. 1996)

As rochas sedimentares podem ser criadas de várias maneiras (pelo vento, água, vulcões ou até por impacto de meteoritos) mas as que têm sido descobertas estão localizadas em ravinas ou bacias, sugerindo que a superfície marciana possuía um grande número de lagos. Algumas imagens mostram centenas de camadas idênticas, o que é praticamente impossível de acontecer sem água líquida.

A origem do material sedimentário ainda não foi bem estabelecida, em parte porque muitas das possíveis pistas para a sua proveniência foram erodidas ao longo do tempo. No entanto, é possível que estas formações tenham sido criadas por água líquida.

Algures no passado de Marte, mudanças dramáticas na pressão atmosférica, podem ter alterado a composição atmosférica e a sua capacidade para transportar partículas de pó, formando este tipo de camadas rochosas. (Sheehan W. 1996)

Actualmente, Marte é um planeta frio e seco. Mais frio que a Antárctica e mais seco que o Sahara. A temperatura mínima pode chegar aos -133°C , fazendo com que no inverno mais de 25% da atmosfera condense em neve e gelo formando camadas nos pólos de CO_2 congelado.

As sondas *Mars Exploration Rovers* que chegaram a Marte em Janeiro de 2004, chamadas *Spirit* e *Opportunity*, transportavam uma ferramenta para perfurar rochas com o objectivo de determinar a sua composição interna. Esta informação revela mais acerca das condições que existiram quando a rocha foi formada.

Em Março de 2004 cientistas anunciaram que as rochas no local de aterragem da *Opportunity* eram invulgarmente ricas em sulfatos. Na Terra os sulfatos são encontrados apenas em rochas que se formaram submersas em água ou estiveram expostas a água por longos períodos. Estas são fortes evidências de que existiu água líquida em pelo menos algumas partes de Marte. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

4.7. Satélites de Marte

Duas luas orbitam Marte perto da superfície do planeta. Estes satélites são tão pequenos que não foram descobertos até à oposição favorável de 5 de Setembro de 1877. O director do U.S. Naval Observatory, Asaph Hall (1829-1907) descobriu duas luas em Marte, que orbitavam praticamente por cima do equador do planeta.

Hall deu o nome de *Fobos* (Medo) e *Deimos* (Terror), os dois filhos de *Ares*, seguindo a sugestão de Henry Medan de Inglaterra, aos dois objectos alongados, respectivamente com dimensões de $28 \times 23 \times 20$ km e $16 \times 12 \times 10$ km. *Deimos*, a lua mais afastada (23 460 km), circunda Marte em 30,3 horas; *Fobos*, a lua interior (9 378 km), demora apenas 7 horas e 39 minutos.

Hall continuou a observar *Fobos* e *Deimos* até ao fim de Outubro, para tentar calcular a massa de Marte a partir da sua acção no movimento dos seus dois satélites. O seu cálculo de 0,1076 vezes a massa da Terra é bastante aproximado do valor aceite actualmente de 0,1074 vezes a massa da Terra. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Sheehan W. 1996)

Deimos levanta-se a Este e demora cerca de 3 dias para viajar de um horizonte para o outro, visto por um observador na superfície marciana, apresenta-se no céu marciano com o mesmo brilho que o planeta Vénus visto da Terra. *Deimos* está a afastar-se lentamente de Marte.

Fobos orbita Marte mais depressa do que Marte gira. Visto de Marte, *Fobos* levanta-se a Oeste e põe-se a Este, geralmente duas vezes por dia. Visto por um observador na superfície marciana, *Fobos* apresenta-se muito mais brilhante no céu marciano do que Vénus no céu terrestre. Está tão próximo da superfície que não pode ser visto de todos os pontos do planeta.

Fobos vai acabar por cair em Marte (daqui a cerca de 40 milhões de anos) ou transformar-se num anel, uma vez que o campo gravítico marciano está a baixar a sua órbita (1,8 metros por século). O relevo mais proeminente de *Fobos* é uma grande cratera chamada *Stickney*, o nome de solteira da mulher de Asaph Hall. Tanto *Fobos* como *Deimos* estão crivados de crateras. (Sheehan W. 1996)

Observações efectuadas pela *Viking Orbiter* mostraram que *Fobos* e *Deimos* encontram-se em rotação síncrona. A atracção gravítica que Marte exerce nestas luas alongadas leva-as a manter sempre o mesmo lado voltado para Marte, da mesma forma que a atracção gravítica terrestre mantém sempre a mesma face da Lua voltada para a Terra.

A origem das luas marcianas ainda é desconhecida. Uma das teorias afirma que as luas marcianas foram capturadas da vizinha cintura de asteróides. A análise dos valores de luz solar reflectida mostra-nos que *Deimos* tem um valor de reflectividade de 0.022 e *Fobos* tem um valor de reflectividade de 0.018, muito menos do que a da Lua. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Estas superfícies escuras são semelhantes a certas classes de meteoritos e asteróides. Muitos asteróides reflectem pouca luz solar (geralmente menos de 10%) por serem ricos em carbono. *Fobos* e *Deimos* possuem densidades muito baixas, 1900 kg/m^3 e 1760 kg/m^3 respectivamente, características de asteróides ricos em carbono. Talvez dois destes asteróides se tenham aproximado o suficiente de Marte para serem capturados pelo campo gravítico do planeta.

Alternativamente, *Fobos* e *Deimos* podem ter-se formado em órbita a partir de restos da formação dos planetas. Algum deste material pode ter vindo da cintura de asteróides, dando às luas marcianas características de asteróides. (Sheehan W. 1996) (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

4.8. História de Marte

O planeta Marte, visto a olho nu, não passa de um ponto avermelhado no céu. Mas no tempo dos Egípcios, já se tinha feito notar o suficiente para receber um nome: *Har Décher* - o vermelho.

Os Babilónios referiam-se ao planeta como *Negal* - a estrela da morte. Também os Gregos associaram o planeta Marte à guerra e ao derramamento de sangue, dando-lhe o nome do seu deus da guerra: *Ares*. (Windows to the Universe. 2000-04)

Ares era alto e bonito, mas fútil e tão cruel quanto o seu irmão *Hephaestus* era amável. A sua irmã *Eris*, a deusa da discussão, é sua companheira constante, mas *Ares* também é assistido pelos seus dois filhos *Deimos* e *Fobos*. Os Romanos, que assimilaram muita da cultura grega, também deram ao planeta o nome do seu deus mitológico da guerra.

Marte era um dos mais proeminentes e adorados deuses Romanos. Inicialmente, *Marte* era o deus da Primavera, do crescimento na natureza, da fertilidade, e o protector do gado. *Marte* também é mencionado como um deus da terra, o que pode explicar como se tornou um deus da morte e finalmente um deus da guerra. Ele é o filho de *Júpiter* e *Juno*. *Marte* é o pai de *Rómulo* e de *Remus*, sendo a mãe a vestal (sacerdotisa) *Ilia*.

Sendo pai dos legendários fundadores de Roma, e consequentemente dos Romanos, os Romanos nomearam-se “os filhos de *Marte*”. *Marte* é retratado como um guerreiro em armadura de batalha, com um capacete coroadado e um escudo. O símbolo de *Marte* é a representação da lança a despontar de um escudo. (Sheehan W. 1996)

Os seus animais sagrados são o lobo e o pica-pau. *Marte* é acompanhado por *Deimos* e *Fobos*, as personificações do terror e do medo. O mês de Março (*Martius*) é assim chamado em sua honra (as guerras eram frequentemente começadas ou renovadas na Primavera).

Marte pode aparecer oposto ao Sol no céu, situação que não é possível para planetas que estejam mais perto do Sol do que a Terra. Quando o planeta Marte aparece assim, diz-se que está em oposição, o que significa que atravessa um ponto na sua órbita em que, visto da Terra, está directamente oposto ao Sol.

É nessa altura que Marte adquire o seu maior brilho, levantando-se quando o Sol se põe e mantendo-se visível durante toda a noite na maioria das latitudes. As oposições de Marte ocorrem aproximadamente a cada 26 meses mas, devido à forma elíptica das órbitas planetárias, as oposições podem ser muito diferentes, tanto em distância como na altura do ano.

O movimento de Marte no céu é de Oeste para Este. No entanto, perto da oposição, quando está em quadratura, o planeta inverte o seu deslocamento, tendo um movimento retrógrado por algum tempo de Este para Oeste. (Sheehan W. 1996)

Em seguida, pára novamente e recomeça o seu movimento directo de Oeste para Este. Marte prossegue o movimento para Este e a sua luz enfraquece gradualmente à medida que se aproxima do Sol, acabando por passar por trás do astro.

Emerge do sol ao amanhecer, seguindo uma vez mais o seu percurso, até que passados dois anos e dois meses, está novamente em oposição. É nesta altura da sua órbita que Marte se encontra mais perto da Terra.

Os Gregos não conseguiram encontrar uma explicação para o estranho movimento de Marte, porque situavam a Terra no centro do Universo e assumiam que os planetas percorriam órbitas circulares perfeitas. (Sheehan W. 1996)

Por volta do ano 250 a.c., *Aristarchus* criou um sistema Heliocêntrico, resolvendo o problema do movimento retrógrado. A Terra, na sua órbita em torno do Sol, faz com que as observações sejam feitas em pontos espaciais diferentes, o que provoca o movimento retrógrado de Marte no céu. No entanto, o modelo não explicava com exactidão o movimento de Marte, uma vez que considerava a sua órbita circular.

O modelo Heliocêntrico de *Aristarchus* acabou por ser posto de parte e os astrónomos continuaram a utilizar e a aperfeiçoar o modelo Geocêntrico. Só passados 17 séculos é que este modelo voltaria de novo a ser contestado, desta vez por Nicolau Copérnico.

O trabalho de Copérnico não teve aceitação imediata. A maior resistência veio dos teólogos, mas muitos astrónomos também não concordaram com as suas teorias, incluindo Tycho Brahe. (Sheehan W. 1996) (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Tycho Brahe nasceu em 1546, três anos após a morte de Copérnico, e foi um dos maiores observadores da história da astronomia. Com instrumentos de observação a olho nu (o telescópio não tinha ainda sido inventado), construiu um extenso arquivo de observações dos movimentos dos planetas. Observou Marte a cada oposição, começando com a de 1580.

Em 1583, Tycho Brahe notou que perto da oposição Marte tem um movimento retrógrado de meio grau por dia, o que prova que Marte se pode aproximar muito mais da terra do que do Sol. Esta aproximação pode ocorrer no modelo Coperniciano, mas não no modelo Ptolemaico.

No entanto, continuava a não querer aceitar as ideias de Copérnico, e passou a trabalhar na teoria do movimento de Marte com a ajuda de dois assistentes, Christian Severinus e Kepler.

Tycho era muito possessivo com as suas observações, por isso Kepler tinha um acesso limitado aos seus registos. Em 1601, Tycho Brahe morreu, Kepler foi nomeado para o suceder e os registos de Tycho foram-lhe confiados. (Sheehan W. 1996)

A partir daí, Kepler poderia continuar o seu trabalho sem interrupções e, ao contrário de Tycho, Kepler acreditava no modelo Copernicano. Com base nas observações de Tycho Brahe, Kepler fez algumas correcções no modelo Copernicano, acabando por descobrir que a órbita de Marte tem uma inclinação constante de $1^{\circ} 50'$, e não o ângulo variável que Copérnico pensava ter.

Após quatro anos de estudos, Kepler chegou à conclusão que a equação que descreve correctamente o movimento de Marte é a de uma elipse com o Sol num dos focos. Se isto era verdade para Marte então também seria para os restantes planetas, assim também eles deveriam ter órbitas elípticas. (Sheehan W. 1996)

Foi o facto de Kepler se ter dedicado ao estudo de Marte, o planeta que possui a órbita mais excêntrica dos planetas conhecidos da altura, que lhe permitiu fazer essa descoberta. Se Kepler se tivesse dedicado ao estudo de Vénus por exemplo, cuja órbita é praticamente circular, não teria sido capaz de descobrir as duas primeiras leis do movimento planetário. Apesar do movimento de Marte ter sido explicado correctamente por Kepler, nada se sabia sobre o planeta propriamente dito. Para isso seria necessário o telescópio.

Em 1610 Galileu Galilei, foi a primeira pessoa a ver o planeta Marte ampliado por um óculo. Mas, mesmo com o seu óculo que conseguia uma ampliação até $20'$, o disco de Marte ficava do tamanho de uma ervilha a 2,4 metros de distância, por isso Galileu não fez descobertas sobre Marte. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

O primeiro registo fiável das características da superfície de Marte foi realizado por Christiaan Huygens (1629-1695). Este cientista observou o planeta com um telescópio construído por si, durante a oposição de 28 de Novembro de 1659, tendo identificado a mancha escura em forma de “V” que hoje se reconhece facilmente como sendo *Syrtis Major*.

Após observar esta característica marciana durante várias semanas, Huygens concluiu que o período de rotação de Marte seria aproximadamente 24 horas, à semelhança da Terra. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Sheehan W. 1996)

Em 1666, o astrónomo e matemático italiano Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) efectuou observações mais detalhadas, tendo concluído que o dia marciano seria cerca de $37\frac{1}{2}$ minutos mais longo do que o dia terrestre. Cassini foi também o primeiro astrónomo a observar as calotas polares marcianas, muito semelhantes às regiões Árticas e Antárcticas da Terra.

Durante a oposição periélica de Setembro de 1672, Christiaan Huygens fez um desenho de Marte em que se identifica sem sombra de dúvida *Syrtis Major* e a primeira representação clara da brilhante camada polar no sul do planeta. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Giacomo Maraldi, sobrinho do director do observatório de Paris, Giovanni Cassini, fez observações de Marte durante as oposições periélicas de 1704 e 1719. Com um telescópio de 10,4 metros, tentou determinar com exactidão o período de rotação do planeta.

Tomou como referência uma marca que voltava a ocupar a mesma posição no disco a cada 37 dias, e durante esse tempo o planeta havia rodado 36 vezes. Assim, conseguiu calcular um valor de 24 horas e 40 minutos para o período de rotação de Marte (valor já antes previsto pelo seu tio). (Sheehan W. 1996)

Mais de um século depois, William Herschel (1738-1822), astrónomo inglês de origem alemã, observou o planeta durante a oposição quase periélica de 1 de Outubro de 1783, tendo sugerido que as calotas polares marcianas seriam constituídas por gelo ou neve.

Herschel tentou descobrir se Marte teria ou não uma atmosfera. Em 1672, Cassini tinha observado uma estrela de quinta magnitude (*Phi Aquarii*) desaparecer a 6' do disco de Marte, o que o tinha levado a concluir que Marte teria uma atmosfera muito densa. (Sheehan W. 1996) (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Herschel suspeitava que a estrela não tinha sido encoberta pela atmosfera, mas que tinha apenas ficado imperceptível devido ao forte brilho do planeta. Com um telescópio reflector de 6,1 metros, seguiu duas estrelas de brilho fraco à medida que se aproximavam de Marte, sem notar qualquer diminuição do seu brilho. Isto provava que a atmosfera marciana não podia ser muito densa, ao contrário do que Cassini supunha. (Sheehan W. 1996)

Herschel descobriu que o eixo de rotação marciano não é perpendicular ao plano da órbita do planeta, mas inclinado cerca de 25° da perpendicular. Este valor é muito aproximado da inclinação do eixo terrestre de $23\frac{1}{2}^\circ$, o que levou Herschel a concluir que as estações marcianas seriam semelhantes às da Terra, com estações opostas nos hemisférios Norte e Sul. Como o planeta Marte demora cerca de dois anos terrestres a orbitar o Sol, as estações marcianas são duas vezes mais longas do que as terrestres.

Devido à inclinação do eixo do planeta, as Primaveras e os Verões no hemisfério sul são mais curtos, mas muito mais quentes que os do hemisfério norte, com picos de temperatura que podem chegar aos 30°C . No entanto, no hemisfério sul os outonos e os invernos são muito mais longos e frios.

Assim, no hemisfério sul, a calota polar cresce muito durante os longos invernos e regride rapidamente durante os curtos e quentes Verões e as marcas escuras (que por vezes parecem esverdeadas) tornam-se muito distintas. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005) (Sheehan W. 1996)

Meio ano marciano depois, com o aproximar do Outono e Inverno, as marcas escuras enfraquecem e a calota polar cresce. Estas variações sazonais eram amplamente aceites como sendo vegetação marciana que variava durante as estações, como acontece na Terra.

O astrónomo jesuíta Angelo Secchi observou Marte durante a oposição de 1858, através de um telescópio refractor com uma capacidade de ampliação de até 300×. No dia 7 de Maio observou uma grande zona azul no disco marciano, que corresponde ao mar *Hourglass*. Para Secchi não restavam dúvidas de que se tratava de um oceano.

Assim, as zonas cinzento-azulado e cinzento-esverdeado seriam mares e as vermelhas seriam continentes. Em 1864, durante a oposição de 1 de Dezembro, William Dawes utilizou um telescópio refractor de ampliação de até 258× para observar Marte. Os seus desenhos são os mais exactos e claros até à data. (Sheehan W. 1996)

O astrónomo italiano Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910), com o auxílio de um telescópio refractor com capacidade de ampliação até 322×, observou Marte durante a oposição favorável de 12 Setembro de 1877.

Schiaparelli construiu um mapa detalhado de Marte baseado em medições de longitudes e latitudes de 62 pontos facilmente reconhecíveis na superfície do planeta. A par das suas observações Schiaparelli criou uma nova nomenclatura para os relevos já conhecidos.

Por volta de Janeiro, Fevereiro e Março de 1878, a atmosfera do planeta havia clareado, revelando uma série de características lineares na superfície marciana. Durante a oposição seguinte, em Novembro de 1879, Schiaparelli, começou a utilizar um filtro amarelo na ocular do seu telescópio, de forma a realçar contrastes no disco marciano.

Schiaparelli acreditava que as áreas escuras correspondiam a oceanos e mares e que as mais claras correspondiam a continentes e ilhas. O facto de serem mais escuras “provava” que eram oceanos, uma vez que absorvem a luz solar, os continentes eram mais claros porque reflectiam a luz solar.

Schiaparelli chamou *canali* às características lineares escuras presentes na superfície marciana, uma palavra italiana para leitos, que foi erradamente traduzida para canais. A alegada descoberta de canais implicava a existência de criaturas inteligentes em Marte capazes da realização de verdadeiros feitos de engenharia.

Esta especulação motivou o astrónomo milionário americano Percival Lowell (1855-1916) a financiar um novo observatório em Flagstaff, no Arizona, dedicado ao estudo de Marte. Até ao final do século XIX, Lowell observou cerca de 160 canais marcianos. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Apesar de muitos astrónomos observarem Marte, nem todos viam os canais de Schiaparelli. Em 1894, o astrónomo americano Edward Barnard (1857–1923), do Observatório Lick na Califórnia, queixou-se “não consigo acreditar nos canais como Schiaparelli os desenha”. Mas as objecções de Barnard e de outros astrónomos não convenceram os defensores dos canais.

No final do século XIX, as especulações acerca de Marte tornaram-se cada vez mais fantásticas. A cor castanho-avermelhada do planeta talvez significasse que Marte seria um mundo deserto e os que canais marcianos formariam uma gigantesca rede de irrigação planetária.

A partir destas especulações, foi um pequeno passo para imaginar Marte como um mundo moribundo, com canais transportando a escassa água das calotas polares para terrenos de cultivo perto do equador. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

A terrível luta pela sobrevivência e o empenho da raça marciana formaram a base de inúmeras histórias de ficção científica, que por sua vez criaram a noção de que os marcianos seriam uma raça bélica que cobiça os abundantes recursos da Terra (em parte derivada da mitologia romana, onde Marte era o deus da guerra).

Histórias de invasões extraterrestres, desde “A Guerra dos Mundos” de Herbert George Wells (1866–1946), até às actuais produções cinematográficas de Hollywood, devem a sua existência aos *canali* de Schiaparelli.

Nas primeiras décadas do século XX, Eugène Antoniadi (1870 - 1944), um astrónomo grego, observou Marte com um poderoso telescópio e descobriu que os “canais” eram na verdade manchas escuras descontínuas. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Mais tarde, entre 1964 e 1969, três sondas espaciais norte-americanas (*Mariner 4*, *Mariner 6*, e *Mariner 7*) sobrevoaram Marte, confirmando a descoberta de Antoniadi. As imagens que recolheram da superfície não mostravam indícios nem dos canais de Schiaparelli, nem de vegetação. As marcas escuras na superfície marciana observadas da Terra eram apenas zonas de terreno com coloração diferente.

Por que razão tantos observadores terrestres afirmaram que as zonas escuras da superfície marciana possuía a coloração esverdeada de vegetação? A explicação provável reside numa falha na percepção de cor pelo olho humano.

Quando uma área cinzenta é observada perto de um área brilhante, vermelha ou castanha, o olho percebe a cinzento como tendo uma coloração azul-esverdeada. (Sheehan W. 1996) (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Se observações modernas da superfície marciana não mostram vestígios de canais lineares, por que razão terão Schiaparelli, Lowell, e muitos outros astrónomos, afirmado que estes canais existiam?

A explicação reside, por um lado, no facto dessas observações terem sido realizadas da superfície terrestre, no fundo de uma atmosfera turbulenta que turva a imagem vista por um telescópio e, por outro lado, na facilidade com que o olho e o cérebro humano são facilmente enganados. Dois pontos ou manchas escuras muito juntas na superfície de Marte são involuntariamente ligados pelo cérebro, dando a percepção de uma linha contínua.

A discussão gerada em torno dos canais marcianos não foi a primeira vez em que vários cientistas chegaram a conclusões erradas. Como qualquer outra actividade humana, a astronomia está sujeita a erros e limitações humanas.

No entanto, a investigação científica é fundamentalmente auto-correctora, e as novas observações e experiências frequentemente colocam em causa teorias científicas vulgarmente aceites como verdadeiras. (Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

4.9. Dados físicos de Marte

Distância máxima ao Sol	$2,492 \times 10^8$ km 1,666 U.A.
Distância mínima ao Sol	$2,067 \times 10^8$ km 1,381 U.A.
Distância média ao Sol	$2,279 \times 10^8$ km 1,524 U.A.
Excentricidade da órbita	0,093
Velocidade orbital média	24,1 km/s
Período de rotação	24,62 horas
Período sideral	686,98 dias
Período sinódico	779,94 dias
Inclinação da órbita em relação ao plano da órbita da Terra	1,85°
Inclinação do equador em relação ao plano da órbita	25,19°
Diâmetro equatorial	6 794 km
Diâmetro equatorial (em diâmetros terrestres)	0,533
Massa	$6,418 \times 10^{23}$ kg
Massa (em massas terrestres)	0,107
Densidade média	3934 kg/m ³
Gravidade à superfície (em gravidades terrestres)	0,38
Velocidade de escape	5,0 km/s
Albedo	0,15
Temperatura média na superfície	-53°C
Atmosfera	95,3% CO ₂ 2,7% N ₂ 0,003% H ₂ O 2% outros gases
Número de satélites conhecidos	2

Tabela 5 - Dados físicos de Marte

(Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. 2003) (Ferreira, M.; Almeida, G. 2004)

(Freedman, R; Kaufmann III, W.2005)

Referências

- Adobe Flash Player, Disponível em <http://www.adobe.com/products/flashplayer/>,
acedido a 8 de Abril de 2009.
- Afonso, A. (2000) – Avaliação de interfaces para a web. Dissertação de mestrado,
Universidade Portucalense, Porto, Portugal.
- Afonso, A.; Leite, L. (1999) - O som e a audição: uma área que faz "vibrar" os professores?
Gazeta de Física, vol. 22, n.º 4, 10-16.
- Ajuda SAPO, Disponível http://ajuda.sapo.pt/pesquisa/directorio/geral/O_que_o_Direct_rio_.html,
acedido a 8 de Abril de 2009.
- Araújo, A. (2005) – A gestão de um projecto de e-learning no ensino recorrente.
Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro, Portugal.
- Bagno, E.; Eylon, B.; Ganiel, U. (2000) - From fragmented knowledge to a knowledge structure:
Linking the domains of mechanics and electromagnetism. Physical Education Research,
American Journal of Physics Supplement, n.º 68, S16-S26.
- Blattner M.; Dannenberg R. (1992) – Multimedia interface design. ACM Press,
New York, United States of America.
- Boyle, T. (1997) – Design for multimedia learning. Prentice-Hall, London, United Kingdom.
- Burnham, R.; Dyer, A.; Kanipe, J. (2003) - Astronomia: O Guia Essencial.
Arte Mágica Editores, Barcarena, Portugal.
- Caldeira, P. (1998) - Influência da informação hipermédia na aprendizagem e satisfação:
impacto do formato da apresentação da informação na aprendizagem e na satisfação em
sujeitos com orientações contrastantes para o estudo. Dissertação de doutoramento,
Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Chaloupka, M.; Koppi, T. (1998) – A vignette model for distributed teaching and learning.
Association for Learning Technology Journal, University of Wales, United Kingdom.
- Christol, J.; Mazeu, M.; Roger, T. (1992) – Ergonomia das interfaces-utilizadores.
Revista Portuguesa de Gestão, III/IV/92, Portugal.
- Chute, A.; Thomson, M.; Hancock, B. (1999) – The McGraw-Hill handbook of distance learning.
McGraw-Hill, New York, United States of America.
- Cid, M.; Valente, M. (1997) - A perspectiva ciência-tecnologia-sociedade. In Leite, L. -
Didáticas/metodologias da educação. Universidade do Minho, Braga, Portugal, 187- 198.
- Costa, S. (2001) - A exploração do universo e o ensino e aprendizagem de astronomia, luz e som:
uma experiência com alunos do 8º ano de escolaridade. Dissertação de mestrado,
Universidade de Aveiro, Portugal.
- Coutinho, P. (1997) – Técnicas de representação de informação multimédia para utilização no
serviço www: uma revisão e análise crítica. Dissertação de mestrado.
Universidade do Minho, Braga, Portugal.

- Dias, P.; Gomes, M.; Correia A. (1998) – Hipermedia & educação. Edições Casa do Professor, Braga, Portugal.
- Diaz, J. (1999) - Divulgación científica y democracia. Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales, n.º 21, 17-25.
- Directório AEIOU, Disponível em <http://www.aeiou.pt>, acedido a 8 de Abril de 2009.
- Directório MundoPT, Disponível em <http://www.mundopt.com/>, acedido a 8 de Abril de 2009.
- Dmoz About page - Open Directory Project, Disponível em <http://www.dmoz.org>, acedido a 4 de Abril de 2009.
- Driver, R.; Newton, P; Osborne, J. (2000) - Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. Science Education, n.º 84, 287-312.
- E.S.A. Home Page - European Space Agency. Disponível em <http://sci.esa.int/>, acedido a 6 de Novembro de 2006.
- Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics. Nature Publishing Group 2001 and Institute of Physics Publishing 2001, United Kingdom.
- Ferreira, M.; Almeida, G. (2004) – Introdução à Astronomia e às observações astronómicas. Plátano Editora, Lisboa, Portugal.
- Freedman, R; Kaufmann III, W.(2005) – Universe. W. H. Freeman and Company, New York, United States of America.
- Google Directory, Disponível em <http://directory.google.com/>, acedido a 6 de Abril de 2009.
- Google Rankings, Disponível em <http://googlerankings.com/>, acedido a 6 de Abril de 2009.
- Gouveia, L. (1997) – Internet, oportunidade ou ameaça ao professor? Departamento de Ciências da Administração da UFP, Porto, Lisboa, Portugal.
- Guia para Iniciantes sobre Optimização para Motores de Busca, Versão 1.1, Disponível em <http://www.google.com/intl/pt-PT/webmasters/docs/>, acedido a 6 de Abril de 2009.
- Hadzigeorgiou, Y. (1999) - On problem situations and science learning. School Science Review, vol. 81, n.º 294, 43-48.
- Harasim, L. (1989) - On-line education: A new domain. Mindweave: communication, computers and distance education, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom.
- Held, P. (2001) - ELAN: Training teachers over the network. Actas do Congresso Challenges, Centro de Competência Nónio séc. XXI da Universidade do Minho, Portugal.
- Hiratsuka, T. (1996) – Contribuições da Ergonomia e do Design na Concepção de Interfaces Multimídia. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

- Hodson, D. (1992) - In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, vol. 14, n.º 5, 541-562.
- Hodson, D. (1993) - In search of a rationale for multicultural science education. *International Journal of Science Education*, vol. 77, n.º 6, 685-711.
- Iglesia, P. (1997) - Alfabetización científica y ciencia para todos en la educación obligatoria. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n.º 13, 37-44.
- Izquierdo, M. (1996) - Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n.º 8, 7-21.
- Jonassen, D.; Mandl, H. (1990) – Designing hypermedia for learning. Springer-Verlag, Berlim, Alemanha.
- Khan, B. (1997) – Web-based instruction. Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, United States of America.
- Laurel, B. (1996) – The art of human-computer interface design. Addison-Wesley, New York, United States of America.
- Lijnse, P.; Kortland, K.; Eijkelhof, H.; Genderen, D.; Hooymayers, H (1990) - A Thematic Physics Curriculum: A Balance Between Contradictory Curriculum Forces. *Science Education*, vol. 74, n.º 1, 95-103.
- Lima, J.; Capitão, Z. (2003) – E-learning e e-conteúdos: aplicações das teorias tradicionais e modernas de ensino e aprendizagem à organização e estruturação de e-cursos. Centro Atlântico, Vila Nova de Famalicão, Portugal.
- Lynch, P.; Horton, S. (1999) – Web style guide: basic design principles for creating web styles. Yale University Center for Advanced Instructional Media, Connecticut, United States of America.
- Marques, C. (2002) - Conceção e desenvolvimento de um sistema hipermédia em contexto educativo. Dissertação de mestrado, Universidade Aberta, Lisboa, Portugal.
- Martins, I.; Veiga, L. (1999) - Uma análise do currículo da escolaridade básica na perspectiva da educação em ciências. Instituto de Inovação Educacional, Lisboa, Portugal.
- McKeon, F. (2000) - Literacy and secondary science - building on primary experience. *School Science Review*, vol. 81, n.º 297, 45-50.
- Melo, R. (2005) - O e-learning e a formação contínua de professores de educação musical. Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro, Portugal.
- Millar, R.; Osborne, J. (1998). Beyond 2000: Science education for the future. King's College, London, United Kingdom.
- Millar, R.; Osborne, J., Nott, M. (1998). National Curriculum review. *Science Education for the future. School Science Review*, vol. 80, n.º 291, 19-24.